



**UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN  
FACULTAD DE ARTES Y EDUCACIÓN FÍSICA  
DEPARTAMENTO DE KINESIOLOGÍA**

**“COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS VISUALES ENTRE SUJETOS  
ADULTOS MAYORES DE LA TERCERA EDAD Y ADULTOS  
JÓVENES EN UNA TAREA DE MARCHA CON OBSTÁCULOS”**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN KINESIOLOGÍA**

**PROYECTO MYS I06/2013, APROBADO Y FINANCIADO POR LA DIRECCIÓN DE  
INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE CIENCIAS DE LA  
EDUCACIÓN**

**AUTORES: ERIC SEBASTIÁN PALMA BOZA.**

**MARÍA JOSÉ VÉLIZ PINO.**

**PROFESOR GUÍA: MG. KLGO. JUAN JOSÉ MARIMAN RIVERO.**

**PROFESOR ASISTENTE: MG. KLGO. JOEL ESTEBAN ÁLVAREZ RUF.**

**SANTIAGO CHILE, ABRIL DE 2015.**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Eric, por toda la creatividad, tiempo, interés, concreción y energía entregada.*

*A Juan José, por guiarnos, acompañarnos, motivarnos y creer en nosotros.*

*A Joel, por su colaboración y gestión en el proyecto.*

*Y a todas aquellas personas y situaciones que confluieron para generar ésto, sin ellas no habría sido posible.*

*Infinita Gritud.*

*María José.*

*A quienes pasaron por las universidades alucinando con querer cambiar el mundo.*

*¡Gracias!*

*Eric.*

## TABLA DE CONTENIDOS

1. RESUMEN	4
1.1 SUMMARY	6
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	7
2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	8
2.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	9
2.4 RELEVANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	9
3. CAPÍTULOS	11
3.1 MARCO TEÓRICO	11
3.1.1 SISTEMAS SENSORIALES	11
3.1.2 SISTEMA VISUAL	11
3.1.2.1 SISTEMA VISUAL EN EL ADULTO MAYOR	12
3.1.3 ATENCIÓN Y EXPLORACIÓN VISUAL	13
3.1.4 MOVIMIENTOS OCULARES	14
3.1.4.1 FIJACIONES	15
3.1.4.2 SACADAS	15
3.1.5 MARCHA EN EL ADULTO MAYOR	16
3.1.5.1 CAÍDAS	17
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.2.1 OBJETIVOS	18
3.2.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	18
3.2.3 POBLACIÓN	18
3.2.4 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN	20
3.2.5 INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	21
3.2.6 SET-UP	22
3.2.7 TAREA	25
3.2.8 SITUACIÓN EXPERIMENTAL	25
3.2.9 ANALISIS DE DATOS	27
3.3 RESULTADOS	32
3.4 DISCUSIÓN	41
4. CONCLUSIONES	46
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
6. ANEXOS	54

## 1. RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal determinar las diferencias en las estrategias visuales empleadas por sujetos adultos mayores de la tercera edad y adultos jóvenes durante una tarea de marcha con obstáculos, cuya muestra fue conformada por 21 sujetos, 9 adultos mayores y 12 adultos jóvenes de ambos sexos, según los criterios de inclusión y exclusión determinados.

Se registró una tarea de marcha simple que consistió en dar cinco vueltas alrededor de un circuito de objetos (obstáculos cotidianos), mediante un dispositivo portátil no invasivo de video-oculografía (*Eye-tracker*) para movimientos oculares.

Se comparó cada variable de las estrategias visuales empleadas durante las dos primeras vueltas dadas al circuito entre grupos de sujetos -adultos mayores y adultos jóvenes-, y entre sujetos, considerando velocidad, duración y distancia para fijaciones y sacadas y la frecuencia para fijaciones, sacadas y movimientos de pestañeos.

En la conducta visual se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las variables de frecuencias de pestañeos durante ambas vueltas entre los dos grupos, siendo mayor en la población de adultos mayores y también en la duración de las fijaciones para la segunda vuelta, siendo menor en el grupo de adultos mayores, además se registraron cambios en la velocidad de las sacadas durante la segunda vuelta, siendo mayor en el grupo de adultos mayores. Al comparar entre la primera y la segunda vuelta no se registraron diferencias significativas en ninguno de los grupos.

Estas diferencias en la selección de estrategias visuales como método de compensación estarían otorgadas por una disminución en la recolección de información del ambiente producto del deterioro natural asociado a la edad.

**PALABRAS CLAVE:** Tercera edad, adulto mayor, neurociencia, percepción, sistema visual, movimientos oculares, estrategias visuales, video-oculografía.

## **1. 1. SUMMARY**

The present research has as main objective to determine the differences in the visual strategies employed by elderly subjects seniors and young adults during a task, running with obstacles, whose sample was composed of 21 subjects, 9 seniors and 12 adults young men and women, according to the criteria of inclusion and exclusion specific.

The simple task of going around a objects circuit (ordinary obstacles) was registered by a portable, non-invasive device for eye movements called Eye-tracker.

Each visual strategy variable was compared to each other's group (seniors v/s young adults) on the two first rounds around the object circuit based on speed, duration and distance for fixations, saccades, and also, fixation frequency and winks movements.

In the visual behavior, statistically significant differences for the variables wink frequency were found to be higher in the elderly population during both rounds between the two groups, and also in the duration of fixations for the second round were found to be lower in the elderly group. Changes were recorded in the speed of saccades during the second round, being higher in the elderly group. When comparing between the first and second rounds, no significant differences were observed in either group.

These differences in the selection of visual strategies as compensation method would be caused by a decrease in environmental data collection due to natural deterioration associated with age.

**KEY WORDS:** Seniors, elderly, neuroscience, perception, visual system, eye movements, visual strategies, video - oculography.

## 2. INTRODUCCIÓN

El estudio de cómo se controlan nuestros movimientos a lo largo de la historia ha tenido una evolución fascinante, desde la conceptualización del control del movimiento a partir de la relación alma-cuerpo hasta acercamientos complejos que presentan al sistema nervioso central como su controlador (*Latash et al., 2008*).

Los sistemas sensoriales codifican los atributos esenciales de los estímulos proporcionados por el medio, información que es utilizada para crear un mapa espacial o representación propia del entorno circundante, lo que permite detectar las relaciones espaciales y temporales entre nosotros y el resto de los objetos.

A nivel visual empleamos diversas estrategias de movimientos oculares para atender de manera selectiva los puntos u objetos de nuestro interés; tales estrategias, secuencias de fijaciones y sacadas, otorgan información relevante del ambiente, para poder dirigir nuestros movimientos y mantener el control postural óptimo en una tarea determinada.

### 2.1. Problema de investigación

Según estudios anteriores, existen diferencias claras en el control motor de los adultos mayores, quienes tienden a confiar más en la información visual para lograr el balance y la estabilidad necesarios a la hora de desplazarse y realizar actividades de la vida diaria con seguridad, como compensación del declive de sus funciones sensorio motoras, los cuales se ven reflejados en un patrón de marcha conservador, caracterizado por la reducción de la velocidad y por un paso de menor longitud (*Villar, 2007*).

La conducta de la mirada parece estar alterada en personas de edad durante la realización de actividades, al fijarse de manera anticipada en los objetivos y durante más tiempo en comparación con los de menor edad (*Chapman y Hollands, 2006*). Empleando, además, un mayor tiempo de reacción visual sacádica debido a la disminución de la función de

procesamiento visuomotor asociado a la edad y a los cambios en los movimientos oculares (Chapman y Hollands, 2010).

El uso de la información visual es el principal medio para detectar las características y peligros de nuestro entorno, por lo que, su implicancia en el riesgo latente de sufrir caídas en los sujetos de mayor edad es muy relevante. Lo que podría presumir que los adultos mayores requieren de un mayor tiempo de momentos de fijación en los objetivos para poder generar las respuestas compensatorias necesarias frente a los cambios impuestos en el ambiente.

Por otro lado, las respuestas automáticas a perturbaciones posturales en adultos mayores se han estudiado extensamente, sin embargo, a nivel visual la capacidad para producir estas acciones voluntarias y sus diferencias entre grupos etarios se ha comenzado a investigar recientemente, representando una necesidad y uno de los principales objetivos de nuestra investigación.

En función de lo expuesto anteriormente, trataremos de responder la siguiente pregunta de investigación, con el fin de determinar diferencias en la selección de estrategias visuales y favorecer la comprensión de las variables claves que diferencian a individuos de diferente grupo etario durante la realización de una tarea cotidiana como lo es la marcha con obstáculos, combinando varios enfoques aplicados en otras poblaciones y extrapolándolos a la realidad de nuestro país.

## **2.2. Pregunta de investigación**

¿Existen diferencias en las estrategias visuales utilizadas por sujetos adultos mayores de la tercera edad pertenecientes al programa de actividad física del adulto mayor de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación y adultos jóvenes no sedentarios pertenecientes a esta misma Universidad en una tarea de marcha con obstáculos, durante el año 2013 y 2014?

### **2.3. Hipótesis de la investigación**

Considerando el declive sensorial de todos los subsistemas asociado a la edad se espera que los adultos mayores presenten una estrategia visual diferente de la utilizada por los adultos jóvenes, expresada en un aumento en el número de fijaciones y en una mayor duración y velocidad de movimientos sacádicos para obtener mayor información del ambiente.

### **2.4. Relevancia de la investigación**

La actividad física es un factor de riesgo modificable para la disminución de la aptitud musculoesquelética y cardiovascular, por lo tanto, puede ser de suma importancia para reducir el riesgo de déficits de la marcha en el envejecimiento de la población. El número de pasos caminados por día y la velocidad disminuyen con el avance de la edad. Varios estudios han demostrado que las intervenciones de actividad física dan lugar a mejoras en el rendimiento de la fuerza, el equilibrio y la marcha (*Pahor et al., 2006; Buchner et al., 1992; Manini et al., 2010; Cress et al., 1999*). Por lo tanto, es posible que los cambios reportados en la marcha y la función física sean atribuibles, en parte al menos, al descenso en la actividad física con la edad (*Bohannon et al., 1996; 2007*). Investigaciones recientes dan cuenta de la influencia positiva de la actividad física en la salud fisiológica, el bienestar psicológico (*Singh, 2004*), el rendimiento cognitivo (*Best, 2010; Etnier et al., 2006; Sibley y Etnier, 2003*), la estructura y función del cerebro (*Hillman et al., 2008; Kramer et al., 2006; Park y Reuter- Lorenz, 2009*).

El impacto de las caídas en los ancianos está asociado con la discapacidad, condicionando largos y complicados tratamientos de rehabilitación que deben ser integrales para recuperar la calidad de vida (*González et al., 2001*). Por otra parte, las personas que han sufrido una caída pueden desarrollar miedo de caer, poniendo en peligro su independencia (*Chandra et al., 2011*).

Los adultos mayores dependen en gran medida del control del sistema visual para poder desarrollar una tarea locomotora de precisión, esto puede ocurrir debido a que

funcionalmente el feedback o retroalimentación propioceptiva se encuentra disminuida (*Mollenbach, 2010*), experimentando el deterioro natural de los sistemas involucrados en el control motor, en el procesamiento de las aferencias y, por lo tanto, en la selección de estrategias visuomotoras. Además, los ajustes en los parámetros de marcha y las estrategias o conductas de mirada también parecen estar alteradas en las personas de edad avanzada durante la tarea simple de caminar, deterioros que con el paso del tiempo aumentan el riesgo de sufrir caídas (*Lord, 1991*).

Con nuestros hallazgos contribuiremos a la comprensión de los diferentes mecanismos del movimiento ocular humano en una tarea cotidiana, favoreciendo la generación y fundamentación de los conocimientos ya existentes de esta temática, aplicándolos a nuestra realidad poblacional y sobretodo en función de la formulación de nuevos planes de intervención, programas de entrenamiento, reeducación, aprendizaje motor y tratamiento a nivel kinésico de habilidades somatosensoriales y visuomotoras, integrándolas para la mejora del control postural, de la estabilidad estática y en la disminución del riesgo de caídas en población envejecida.

Por lo tanto, continuando en esta línea de investigación del control motor y analizando el sistema visual desde nuestra disciplina podríamos dar pie a la realización de estudios posteriores, corroborando la importancia teórica que se tiene de este sistema y tratando de implementarla en futuras intervenciones clínicas preventivas y destinadas a la población envejecida basadas en evidencia científica, ya que caracterizando las estrategias de mirada para diversas poblaciones múltiples herramientas podrían ser formuladas.

### 3. CAPÍTULOS

#### 3.1. Marco Teórico

##### 3.1.1. *Sistemas sensoriales.*

La sensibilidad implica la capacidad para transducir, codificar y finalmente percibir información generada por los estímulos que se originan en el medio ambiente externo e interno. Gran parte del cerebro se dedica a estos aspectos. Aunque los sentidos básicos: *la sensibilidad somática, la visión, la audición, la sensación vestibular y los sentidos químicos*, son muy diferentes entre sí, algunas reglas fundamentales gobiernan la forma en que el sistema nervioso se ocupa de cada una de estas modalidades (*Purves et al., 2008*).

El conocimiento dónde y cómo se transducen, transmiten representan y procesan las diferentes modalidades sensitivas es esencial para conocer y tratar una amplia variedad de enfermedades, que hoy en día resultan comunes (*Kaas y Collins, 2003*).

##### 3.1.2. *Sistema visual.*

La función fundamental del sistema visual es proporcionar la información necesaria para llevar a cabo las tareas de la vida cotidiana. La percepción, en el sentido de discriminar entre las diferentes sensaciones del mundo exterior, tiene un papel que desempeñar en esto, pero también tiene gran importancia la orientación de la acción: el hecho de conducir al individuo a través su entorno y guiar los segmentos corporales en la ejecución de las actividades que se requieren para sobrevivir (*Land y Tatler, 2009*). Es por esto, que en todas las actividades que realizamos, los ojos cumplen dos funciones básicas: la primera es la búsqueda e identificación de los objetos necesarios para las diversas tareas y la segunda es guiar las acciones que hacen uso de estos objetos (*Land y Tatler, 2009*).

### 3.1.2.1. Sistema visual en el adulto mayor.

La Tercera Edad es considerada por muchos como los "años dorados" de la edad adulta. Está generalmente definida como el lapso de tiempo entre la jubilación y el principio del declive físico impuesto por la edad, las limitaciones cognitivas y emocionales (Barnes, 2011).

El proceso de envejecimiento afecta todas las estructuras del ojo y genera cambios en las funciones visuales existiendo una disminución en la agudeza visual, degeneración muscular que influye en la acomodación ocular y adaptación en la oscuridad (Blanks y Dorey, 2009).

La conducta de la mirada parece estar alterada en personas de edad durante la realización de actividades, al fijarse de manera anticipada en los objetivos y durante más tiempo en comparación con los de menor edad (Chapman y Hollands, 2006). Empleando, además, un mayor tiempo de reacción visual sacádica debido a la disminución de la función del procesamiento visuomotor asociado a la edad y a los cambios en los movimientos oculares (Chapman y Hollands, 2010).

Al deambular en ambientes naturales, la adquisición secuencial y procesamiento de la información visual está influenciada por muchos factores, incluyendo las demandas de la tarea, la dirección de la cabeza (Warren, Kay, Zosh, Duchon y Sahuc, 2001), el flujo óptico (Harris y Carre, 2001; Warren et al., 2001), y una división de la atención entre los objetivos destacados/interesantes para el observador (Broman et al., 2004). A su vez, esta información permite al sujeto orientarse correctamente, controlar la velocidad y evitar los obstáculos (Patla, Niechwiej, Racco y Goodale, 2002), mientras que la capacidad de mantener el control del medio ambiente es menos predecible por los elementos de interés (Jovančević, Sullivan y Hayhoe, 2006; Jovančević - Misic y Hayhoe, 2009).

Los adultos mayores, cuando se les indica que deben caminar a través de determinados objetivos, visualmente se fijan antes en los obstáculos, en comparación con los sujetos jóvenes (Chapman et al., 2006), mirando antes y de forma prolongada los obstáculos en comparación con los sujetos más jóvenes (Keller et al., 2011).

### **3.1.3. Atención y exploración visual.**

Los seres humanos, junto con la mayoría de los vertebrados, perciben visualmente el mundo realizando movimientos de los ojos para dirigir una región centralizada de la agudeza visual hacia diferentes partes del medio ambiente (*Land, 1997*).

En la visión humana, la agudeza y la sensibilidad del color son mejores en el punto de fijación, y el sistema visual cognitivo explota este hecho controlando activamente la mirada para dirigir la fijación hacia lo importante e informativo de las regiones de la escena en tiempo real, según sea necesario (*Henderson, 2003*).

¿Cómo funciona el control de la mirada sobre escenas complejas del mundo real? Durante la percepción de la escena humana, de alta calidad visual, la información sólo se adquiere a partir de una región espacial limitada que rodea el centro de la mirada: la fovea. La calidad visual cae rápidamente y de forma continua desde el centro de la mirada en un recuadro visual de baja resolución (*Henderson, 2003*).

Los estudios tanto de detección de cambios y la identificación de objetos demuestran que los movimientos oculares de fijación cercana o directa suelen ser requeridos para identificar objetos en las escenas y percibir sus detalles visuales (*Hollingworth et al., 2001*).

Desde hace mucho tiempo se conoce que el movimiento natural de la mirada de un observador sobre una escena es discontinua, con distintas ubicaciones fijadas de manera secuencial, lo que presumiblemente refleja el potencial valor de la escena para el observador (*Yarbus, 1967*).

Los movimientos reales de los ojos son parte de un sistema coordinado que incluye la mirada de la cabeza y el cuerpo, a medida que avanzamos por el espacio y realizamos acciones (*Pelz, Hayhoe, y Loeber, 2001*).

La forma en que el sistema visual nos muestra nuestro mundo es temporal y espacialmente limitada; la recolección de información del lugar se realiza por períodos de

fijación que ocurren típicamente en una frecuencia de 3 a 4 veces por segundo y está condicionada espacialmente por los límites de muestreo impuestos por la retina. Dadas estas limitaciones, el sistema visual no es capaz de mostrarnos completa y uniformemente el complejo entorno visual. De hecho, está claro que durante las actividades de la vida diaria hay grandes proporciones de los alrededores visuales hacia los cuales no dirigimos nuestra mirada (*Ballard et al., 1992; Hayhoe y Ballard; Land y Mennie, 1999*).

La investigación de la visión natural en seres humanos ha buscado identificar las propiedades espacio-temporales de la forma en que la gente mueve los ojos (*Becker, 1991*), ya que su caracterización podría dar indicios sobre el óptimo procesamiento de la información tareas cotidianas (*Rayner, 1998*).

#### **3.1.4. Movimientos oculares.**

Cuando se observa una imagen, los seres humanos mueven los ojos rápidamente para mostrar diferentes regiones con la alta resolución que ofrece la fovea. La paradoja de este proceso es que a menudo el sistema visual debe calcular lo que es importante tener en cuenta, antes de que haya podido analizar los objetivos eventuales en detalle. Sin embargo, en lugar de fijarse en lugares al azar, se sabe que las personas tienden a mover sus ojos hacia las regiones que son interesantes y útiles para su tarea actual (*Buswell, 1935; Yarbus, 1967*).

En conjunto, la adecuada coordinación de los movimientos oculares y de la cabeza se considera a nivel motor como una estrategia visual, a la hora de realizar una tarea y en función de la intención de visualización que tenga la persona y del contexto al que se enfrente (*Mollenbach, 2010*). Las definiciones básicas utilizadas para describir las formas en que los ojos pueden moverse comprenden básicamente dos movimientos: *sacadas* y *fijaciones*. No obstante, las posibles combinaciones entre movimientos oculares son más o menos ilimitadas, pero exploradas en un número restringido de contextos, tales como: la visualización de una escena, la

lectura y, hasta hace poco, durante actividades en un entorno natural, debido principalmente a las limitaciones tecnológicas que hoy en día están siendo superadas (*Mollenbach, 2010*).

#### 3.1.4.1. Fijaciones.

Las fijaciones son los movimientos oculares a través de los cuales se estabiliza la retina cuando existe un objeto fijo de interés (*Duchowski, 2007*), manteniendo la mirada del ojo en un blanco estacionario seleccionado (*Komogortsev y Karpov, 2013*).

Las fijaciones se caracterizan por ser movimientos pequeños de los ojos: temblor, desviaciones y microsacadas (*Duchowski, 2007*). Las microsacadas son movimientos de los ojos más o menos aleatorios que varían espacialmente sobre un arco de amplitud de 1 a 2 minutos y caracterizan efectivamente a las fijaciones ya que ocurren al tratar de mantener la mirada fija, este ruido aparece como una fluctuación aleatoria sobre el área de la fijación (*Carpenter, 1977*).

Las medidas estadísticas de fijaciones incluyen un rango de duración de 150 ms a 600 ms (*Irwin, 1992*) siendo la duración media durante la visualización de una escena de 330 ms, aunque hay una buena cantidad de variabilidad en torno a esta medida, tanto dentro de un individuo y entre los individuos (*Rayner, 1998*). Gran parte de esta variabilidad es controlada por factores visuales y cognitivos asociados con la zona de la escena fijada (*Henderson, 2003*).

#### 3.1.4.2. Sacadas.

Las sacadas son movimientos rápidos de los ojos utilizados en el reposicionamiento de la fovea hacia una nueva ubicación en el entorno visual (*Duchowski, 2007*). Una sacada es una rotación muy rápida del ojo moviéndolo de un punto de fijación a la siguiente (*Komogortsev y Karpov, 2013*).

Las sacadas han sido consideradas movimientos balísticos y estereotipados. El término estereotipado se refiere a que los patrones de movimiento pueden ser evocados en varias ocasiones. El término balístico se refiere a que los destinos de las sacadas están pre-

programados. Es decir, una vez que se ha calculado el movimiento sacádico se produce la siguiente posición deseada (*Duchowski, 2007*).

Las sacadas, son a la vez, movimientos voluntarios y reflexivos, ya que se pueden ejecutar de forma voluntaria o pueden ser invocados como corrección de una medida optocinética o vestibular. Las sacadas varían en duración de 10 ms a 100 ms, lo cual es suficientemente corto para cegar eficazmente al ejecutor durante la transición entre fijaciones (*Shebilske y Fisher, 1983*).

El patrón de información sólo se adquiere durante períodos de relativa estabilidad de la mirada (fijaciones), debido a 'la supresión sacádica' durante los movimientos sacádicos mismos (*Volkman, 1986*).

### ***3.1.5. Marcha en el adulto mayor.***

Para la marcha se requiere de la implicancia de todo el sistema musculoesquelético y de diversos reflejos posturales para alcanzar una situación de estabilidad mecánica en bipedestación. Las respuestas posturales, resultado de la integración de los estímulos aferentes visuales, vestibulares y propioceptivos son de carácter voluntario, aunque sometidos a ajustes inconscientes del sujeto (*Villar, 2007*) necesarias para una locomoción segura, permitir la movilidad independiente en la vida cotidiana, siendo al parecer la información visual quien desempeña un papel determinante en esto (*Kennedy et al., 2003; Patla, 1997*).

Si bien no todos los adultos mayores experimentan cambios en su mecánica de marcha, el deterioro físico inherente al envejecimiento, o incluso la prudencia que el temor a caer despierta en las personas mayores, hace que estos sean frecuentes y de muy diversa índole; el más común de todos ellos es la disminución de la velocidad (*Villar, 2007*).

### 3.1.5.1. Caídas.

Las caídas constituyen a nivel mundial una de las principales causas de morbilidad en adultos mayores sobre 65 años y representan la sexta causa de muerte (*Franch, 2009*); la prevalencia de las caídas aumenta con la edad, en individuos entre 65 y 74 años es del 32% y la cifra se eleva hasta el 51% en los mayores de 85 años (*Costello et al., 2008*).

Se ha demostrado que los adultos mayores con deficiencias visuales se caen con más frecuencia que los adultos mayores sin discapacidad visual (*Lord et al., 1994*) siendo probable que las caídas durante la locomoción sean atribuibles a una disminución de la capacidad de los adultos mayores para extraer la información visual relevante del entorno (*Hollands et al., 1995*).

Los cambios en las estrategias visuales son evidentes en sujetos con edades sobre 60 años (*Keller et al., 2011*) relacionándose con una pérdida en la capacidad para distinguir personas, objetos o incluso los bordes y formas de éstos (*Lord y Dayhew, 2001*). Otros estudios relacionan la dificultad para distinguir profundidades, distancias y/o relaciones espaciales, por ejemplo, para calcular la altura de un escalón (*Johnson, 2008*), especialmente en condiciones con niveles de baja iluminación (*Lord y Dayhew, 2001*). Por lo tanto, los adultos mayores con una reducción en la agudeza visual o cuando su visión está limitada (*Heasley et al., 2004*) adoptan una estrategia para caminar mucho más conservadora producto de un mayor riesgo a la hora de sufrir caídas (*Lord, 1991*), siendo necesario examinar las conductas visuales relacionadas con la edad y en tareas específicas como la locomoción, a través del registro de los movimientos oculares.

## **3.2. Materiales y métodos**

### **3.2.1. Objetivos.**

#### *3.2.1.1. Objetivo general.*

Determinar las diferencias en la estrategia visual empleada por sujetos adultos mayores de la tercera edad y adultos jóvenes durante una tarea de marcha con obstáculos.

#### *3.2.1.2. Objetivos específicos.*

- Caracterizar la estrategia visual de los sujetos adultos mayores de la tercera edad y adultos jóvenes durante una tarea de marcha con obstáculos en relación a la frecuencia, distancia, duración y velocidad de fijaciones, sacadas y pestaños.
- Comparar la estrategia visual de sujetos adultos mayores de la tercera edad y adultos jóvenes durante una tarea de marcha con obstáculos en relación a la frecuencia, distancia, duración y velocidad de fijaciones, sacadas y pestaños.

### **3.2.2. Diseño de investigación.**

Este estudio presenta un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y de corte transversal.

### **3.2.3. Población.**

Corresponde a adultos mayores de la tercera edad pertenecientes al programa de actividad física del adulto mayor de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación y adultos jóvenes estudiantes pertenecientes a esta misma Universidad, de la cual se seleccionó de

manera no probabilística una muestra de 32 sujetos, dividida en dos grupos equitativos en número, sometidos según los criterios de inclusión y exclusión descritos a continuación.

Todos los sujetos interesados en participar del estudio fueron informados sobre los objetivos, los procedimientos y las características de la tarea, posteriormente se solicitó la lectura, aceptación y firma de un documento de consentimiento informado, el cual fue aprobado previamente por el Comité de Ética de Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación en agosto de 2013.

Se realizó la etapa piloto de esta investigación entre los meses de febrero-abril de 2013 con 3 sujetos de prueba para ajustar el diseño, duración y dificultad de la tarea. Posteriormente se registraron 32 sujetos durante los períodos de noviembre-diciembre de 2013 y enero de 2014, de los cuales 11 fueron excluidos, ya que sus registros no cumplieron con los requisitos mínimos de calidad, como por ejemplo: una luminosidad adecuada para el análisis ocular, la presencia de reflejo corneal durante las dos primeras vueltas de la tarea, el desarrollo óptimo de la calibración completa y la efectividad de las tres cámaras (de registro ocular, escena y suelo).

La muestra en tanto, quedó conformada finalmente por 21 sujetos, dividida en 9 adultos mayores de la tercera edad y 12 adultos jóvenes. Las características de los sujetos participantes se resumen en la *Tabla 1*.

**Tabla 1. Características generales de los sujetos participantes en el estudio.**

<b>Característica</b>	<b>Promedio <math>\pm</math> DS</b>
Número de sujetos:	21.
Edad:	Ambos grupos: 45 $\pm$ 24 años.
	Adultos mayores: 72,1 $\pm$ 4 años.
	Adultos jóvenes: 24,2 $\pm$ 2 años.
Sexo:	Masculino: 7 sujetos.
	Femenino: 15 sujetos.
Resultados <i>Escala Tinetti</i> :	Ambos grupos: 25,4 $\pm$ 3,1 puntos.
	Adultos mayores: 23,1 $\pm$ 4 puntos.
	Adultos jóvenes: 27,1 $\pm$ 1 puntos.
Frecuencia cardíaca para el Inicio de la tarea:	Ambos grupos: 72 $\pm$ 10 ppm.
	Adultos mayores: 68 $\pm$ 12 ppm.
	Adultos jóvenes: 75 $\pm$ 7 ppm.
Frecuencia cardíaca para el término de la tarea:	Ambos grupos: 77,5 $\pm$ 10 ppm.
	Adultos mayores: 74 $\pm$ 10 ppm.
	Adultos jóvenes: 80 $\pm$ 10 ppm.

*DS = desviación estándar.*

### **3.2.4. Criterios de inclusión y exclusión.**

#### **3.2.4.1. Criterios de inclusión.**

Fueron considerados los siguientes criterios de inclusión en este estudio:

- En caso de presentar déficits visuales como: miopía, hipermetropía, astigmatismo, etc., estos deben encontrarse corregidos con anteojos logrando visión funcional y controlados por un especialista durante el último año.
- No presentar trastornos neurológicos o psiquiátricos.
- En caso de padecer patologías crónicas no transmisibles (hipertensión, diabetes, etc), debían encontrarse compensadas con medicamentos.
- Realizar actividad física a intensidad moderada, como mínimo tres veces por semana, y durante treinta minutos.
- Presentar marcha independiente.

- En sujetos adultos mayores: pertenecer a la tercera edad, rango etario entre 60 y 79 años (*OMS, 1985, Barnes, 2011*).
- En sujetos adultos jóvenes: pertenecer al rango etario entre 20 y 29 años (*OMS, 1985*).

#### 3.2.4.2. *Criterios de exclusión.*

También fueron considerados los siguientes criterios de exclusión en este estudio:

- Presentar alto riesgo de caídas, puntuación menor a 19 puntos en la *Escala Tinetti* (*Tinetti y Mayewski, 1986*).

Según la *Escala Tinetti*, el riesgo de caídas en la población general depende de los puntajes de marcha y equilibrio. Éste test es una herramienta que se puede usar para predecir el eventual riesgo de caídas, según los trabajos reportados por su autora como por otros investigadores (*Vera et al., 2003*).

- Rechazo del consentimiento informado.

#### 3.2.5. *Instrumento de medición.*

El seguimiento ocular se utiliza para determinar la ubicación de la atención visual (*Duchowski, 2002; McAlonan et al., 2008; Lee et al., 2011*) y evaluar estrategias de mirada (*Najemnik y Geisler, 2005; Dewhurst et al., 2012*).

Los movimientos oculares de los sujetos fueron registrados mediante un dispositivo de seguimiento ocular (*Eye-Tracker* portátil), diseñado por el Laboratorio de Neurosistemas de la Universidad de Chile, con una tasa de muestreo de 30 cuadros por segundo (*fps*) en su cámara ocular, la cual ha demostrado ser suficiente para evaluar los movimientos oculares de sacadas y fijaciones en investigaciones previas (*Babcock y Pelz, 2004*). Este sistema presenta una base estable, liviana y segura, que permite los movimientos libres de la cabeza. En conjunto con la cámara ocular existe un infrarrojo sensible a cámaras (*CMOS*) que permite evaluar la posición de

la pupila y la reflexión corneal. Una segunda cámara en miniatura se sitúa arriba del ojo derecho y se utiliza para capturar la escena desde la perspectiva del sujeto.

Las cámaras se encuentran conectadas a un circuito que suministra energía y les permite conectarse a dos cámaras de video independientes para la grabación del registro.

Este dispositivo fue ajustado en la cabeza de cada individuo de manera similar a la postura de cualquier tipo de anteojos y su batería portátil fue dispuesta en una mochila liviana que debía ser portada en la espalda de los sujetos.

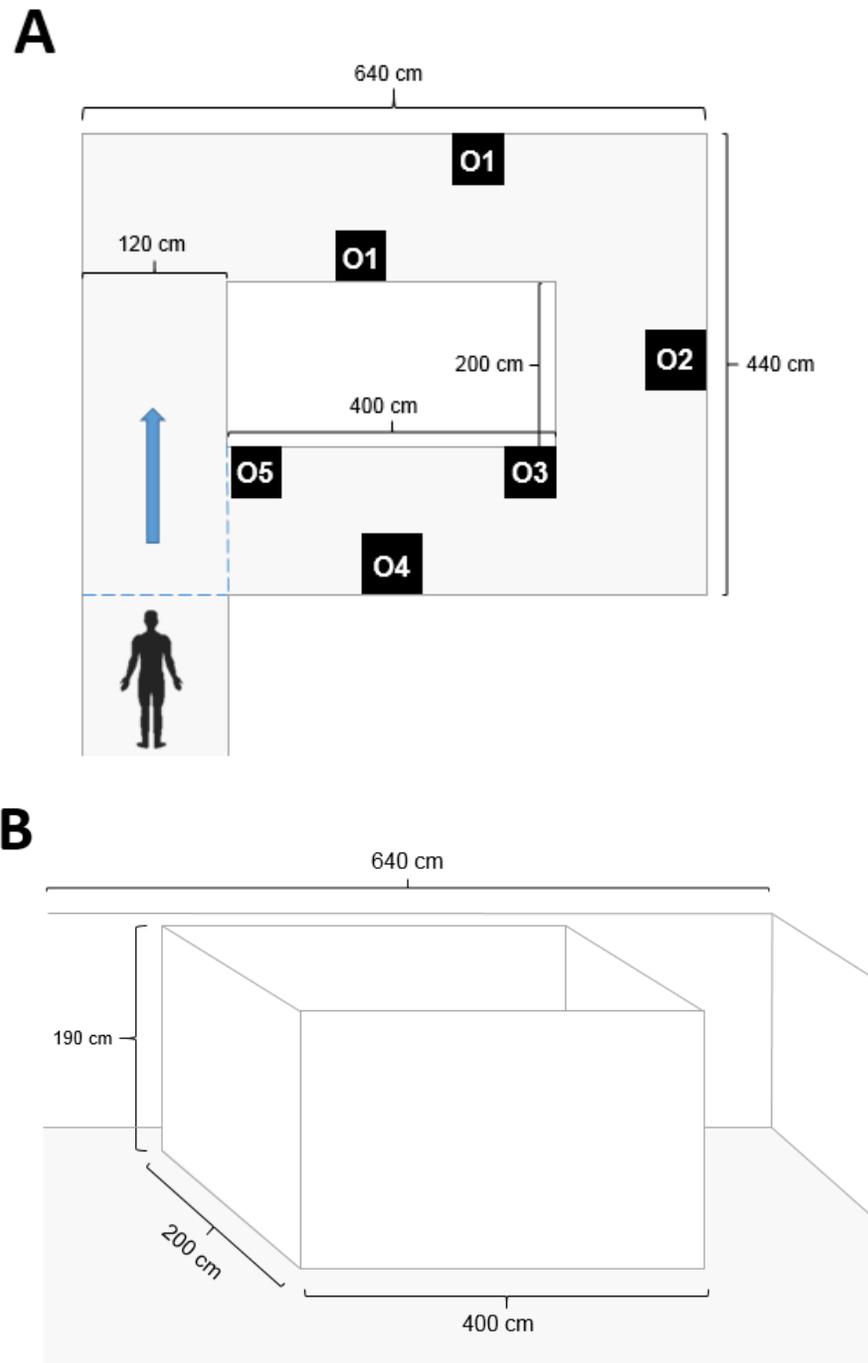
Además para determinar el inicio y término de las vueltas y registrar la distancia entre los sujetos y los objetos obstáculos se dispuso de una tercera cámara-cinturón en dirección hacia el suelo.

### **3.2.6. Set-up.**

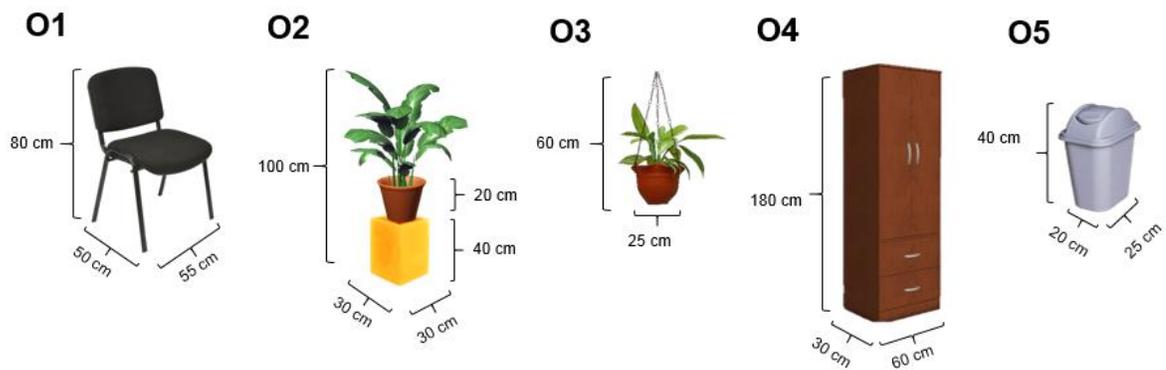
Los sujetos fueron registrados de manera independiente en dos salas contiguas ubicadas en las dependencias del Departamento de la carrera de Kinesiología, localizadas en el Campus Joaquín Cabezas de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Comuna de Ñuñoa, Santiago de Chile, salas equipadas de tal manera que la iluminación permitiera una buena calidad del registro y el ruido no interfiriera con el desarrollo de éstos.

En una de estas salas se obtuvieron los datos de los sujetos (edad, sexo, frecuencia cardíaca, riesgo de caídas, etc.) y se realizaron las calibraciones del equipo, una previa y otra posterior a la ejecución de la tarea ejecutada en la sala contigua y cerrada sin ventanas, en donde se encontraban los diferentes obstáculos dispuestos en un circuito rectangular alrededor de una estructura central con visión restringida hacia otros sectores de la habitación, cuyas dimensiones son 20 metros aproximados (2.160 cm) de trayectoria (640 cm de largo y 440 cm de ancho) y 190 cm de altura (*Jovancevic-Misic y Hayhoe, 2009*). Las dimensiones del circuito experimental se encuentran graficadas en la **Figura 1**.

Dentro del circuito de obstáculos se encontraban los siguientes objetos de distinto tamaño y características: *dos sillas metálicas, dos plantas en sus respectivos maderos (una sobre un mueble y otra colgante), un mueble de madera y un basurero de plástico*. La disposición de los objetos en el circuito se encuentra graficada en la **Figura 1**. Las dimensiones de los objetos obstáculos se encuentran graficados en la **Figura 2**.



**Figura 1: Diagrama del Set-up experimental.** Se muestran las dimensiones del circuito para la vista superior (**A**) y la vista frontal del set-up experimental (**B**). Además se expone la disposición de los 5 obstáculos diferentes ((objeto 1 (**O1**), objeto 2 (**O2**), objeto 3 (**O3**), objeto 4 (**O4**) y objeto 5 (**O5**)) y el sentido de la trayectoria del recorrido del sujeto (**flecha azul**) en el circuito según la vista superior del set-up experimental.



**Figura 2: Diagrama de los objetos obstáculos.** Se muestran las dimensiones de los 5 obstáculos diferentes (objeto 1 (O1), objeto 2 (O2), objeto 3 (O3), objeto 4 (O4) y objeto 5 (O5)) dispuestos en el circuito del set-up experimental.

### 3.2.7. Tarea.

El experimento recreó una situación cotidiana, en el contexto de una tarea de marcha simple, para la cual los sujetos fueron instruidos a caminar a un ritmo y velocidad normal (actividad física de baja intensidad) alrededor de la trayectoria, el objetivo fue dar cinco vueltas esquivando un circuito de objetos obstáculos cotidianos (Menz B. et al; 2003).

### 3.2.8. Situación experimental.

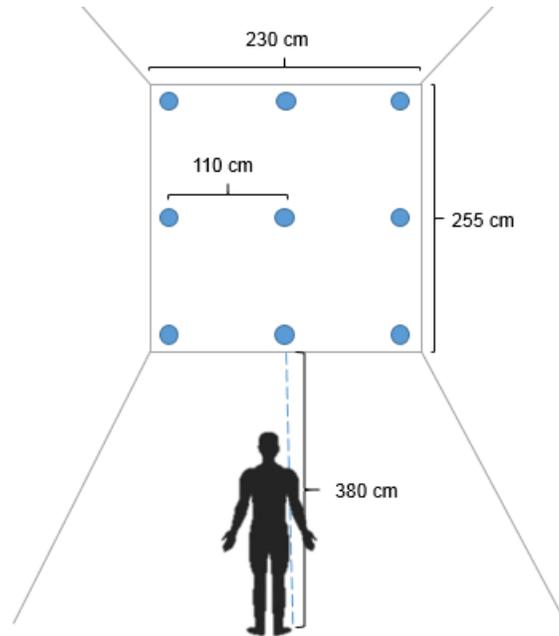
Luego que cada sujeto leyó y firmó el consentimiento informado para participar en el estudio, se inició el siguiente protocolo de preparación:

- Se determinó la frecuencia cardíaca para cada sujeto como medida de precaución antes de dar inicio a la tarea y para conocer su respuesta fisiológica ante la actividad.
- Se realizó la aplicación de la *Escala Tinetti* (Tinetti y Mayewski, 1986) para descartar un alto riesgo de caídas en adultos mayores y evaluar tanto el equilibrio estático, como dinámico. Contemplando que la *Escala Tinetti* se encuentra diseñado para la población

adulta mayor, aun así también fue aplicada a la población adulta joven como medida de precaución y método evaluativo de comparación entre poblaciones.

- Si el sujeto cumplía con los criterios de inclusión para un determinado grupo se iniciaba el registro sincronizando el equipo de seguimiento ocular con la tercera cámara-cinturón de registro del suelo con un flash de cámara fotográfica.
- Se posicionó el *Eye-Tracker*, su batería portátil y la tercera cámara de registro, asegurando la comodidad para cada sujeto (anteojos, mochila y cinturón respectivamente) y ajustando los ángulos de registros de las cámaras.
- Se solicitó a los sujetos ubicarse en posición bípeda a una distancia de 380 cm de un tablero de calibración de 255 cm de alto y 230 cm de ancho, que abarcaba todas las dimensiones de una pared, y por lo tanto, del campo visual de los sujetos. A continuación, se les instruyó para mantener una fijación visual durante unos segundos en 9 puntos distintos distribuidos en el tablero de calibración, según la secuencia determinada por el movimiento de una luz láser. Las dimensiones del tablero de calibración se encuentran graficadas en la **Figura 3**.
- A continuación se solicitó a los sujetos dar 5 vueltas en el circuito de obstáculos.
- Posterior a la ejecución de la tarea nuevamente se realizó la calibración en el tablero y se efectuó la medición de frecuencia cardíaca.

La duración total de la situación experimental fue aproximadamente de 30 minutos, considerando las 5 vueltas en el circuito, los dos momentos de calibración, la toma de la frecuencia cardíaca y la aplicación de la *Escala Tinetti*.



**Figura 3: Diagrama del tablero de calibración.** Se muestran las dimensiones del tablero de calibración y la distancia entre éste y los sujetos.

### 3.2.9. Análisis de datos.

#### 3.2.9.1. Análisis de imágenes *Expert eyes*.

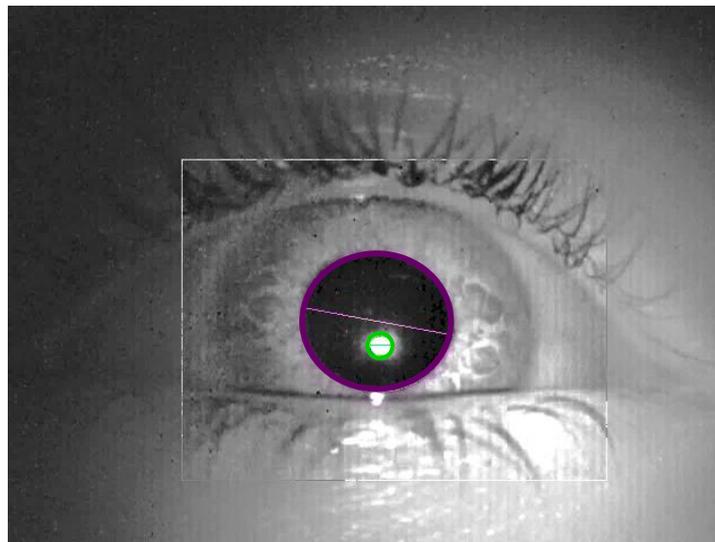
Para el análisis de los registros, se identificaron momentos de sacadas, fijaciones y pestañeos, posterior al procesamiento en el software *ExpertEyes 2.4* (© 2004 ETRA, Inc.) para las dos primeras vueltas (suficientes para responder nuestra hipótesis de investigación y cumplir con los objetivos planteados en esta primera instancia de la investigación) de las cinco vueltas correspondientes a la ejecución total de la tarea.

La secuencia de análisis fue la siguiente:

- Identificación de la ubicación de la pupila y del reflejo corneal en cada cuadro de los registros (**Figura 4**).
- Sincronización entre los registros de la cámara de registro ocular y la cámara de registro ambiente (*Eye-tracker*) a través de la selección de imágenes correspondientes

al inicio de ambos registros (primer segundo de grabación) determinado por la iluminación de un flash simultáneo en todas las cámaras.

- Luego se realizó la etapa de calibración mediante la selección de un intervalo de imágenes correspondientes a los momentos de fijación para cada uno de los 9 puntos del tablero (**Figura 3**) sincronizando el registro de la cámara ocular -posición de la pupila- y de la cámara ambiente -posición en píxeles del punto de fijación en el espacio-.
- Identificación y selección de momentos de pestañeos y errores de grabación en intervalo de imágenes.
- Determinación del inicio y término de las 5 vueltas realizadas en el circuito de obstáculos, según la información entregada por la cámara cinturón.
- Los datos del procesamiento realizado por el Software se extrajeron en una planilla de cálculo 'formato txt' para su posterior análisis.



**Figura 4: Fotografía de la ubicación de la pupila y el reflejo corneal.** Se muestran la identificación del centro pupilar (en color morado) y la identificación del reflejo corneal (en verde).

### 3.2.9.2. Análisis de datos Matlab.

El análisis de las coordenadas del centro pupilar (*ExpertEyes 2.4*) fue realizado con el Software *Matlab* (© 1994-2011 *The MathWorks, Inc.*), en el cual se determinaron las siguientes variables de interés para este estudio:

La secuencia de análisis fue la siguiente:

- Mediante la recolección de datos de la posición de la mirada en la pantalla para los ejes horizontal (X) y vertical (Y) se desarrolló la identificación de las ventanas temporales para los momentos de pestañeo y se reemplazó por la de la posición 0,0, no considerándolos en los análisis posteriores (diferenciando estos movimientos de las fijaciones y sacadas).
- Para iniciar el análisis se convirtió la posición de la pupila en píxeles a grados visuales, a partir de la siguiente fórmula planteada por Duchowski (*Duchowski, 2007*):

$$O = 2 * \text{Tan}^{-1} * (r / 2D)$$

Donde  $O$  es grados visuales,  $r$  es la distancia recorrida entre 2 frames y  $D$  es la distancia perpendicular entre la posición de los ojos del sujeto y el plano visual de calibración.

- Posteriormente se realizó la discriminación entre momentos de fijaciones y sacadas, según un criterio umbral de velocidad de 30 grados visuales/segundo ( $^{\circ}/\text{seg}$ ), para el cual, si la velocidad entre *frames* era menor a  $30^{\circ}/\text{seg}$ , se consideraba cómo un momento de fijación visual y en caso de ser mayor a  $30^{\circ}/\text{seg}$ , ésta era considerada como un momento de sacada.
- Además se programó la eliminación de sacadas inmediatamente antes o después de cada pestañeo para las dos primeras vueltas realizadas en el circuito por todos los sujetos.
- Finalmente se realizó la tabulación de todos los datos obtenidos de manera individual y por grupo para su posterior análisis estadístico.

### 3.2.9.3. Análisis estadístico.

El procesamiento estadístico de todos los resultados obtenidos fue realizado con el Software *Matlab* (© 1994-2011 *The MathWorks, Inc.*) y la confección de los gráficos de resultados con el Software *Prism 6* (© 1994-2013 *GraphPad, Inc.*).

- La variable independiente corresponde a la edad de los sujetos, según la clasificación de la OMS empleada en los criterios de inclusión para adultos mayores de la tercera edad y adultos jóvenes. Por otro lado las variables dependientes de las estrategias visuales contempladas en este estudio corresponden a: frecuencia, duración, velocidad y distancia para momentos de fijaciones, sacadas y pestaños. Variables resumidas y caracterizadas en la **Tabla 2**.
- Los datos fueron ordenados según cada variable en ambos grupos.
- Previo a la selección de los test estadísticos se realizó una prueba de normalidad “*Lillietest*” para cada variable en ambos grupos.
- Para la comparación del grupo de adultos mayores y adultos jóvenes se realizaron las pruebas *T-student* en caso de que presentar una distribución paramétrica y la prueba de *Wilcoxon Rank Sum Test (Ranksum Test)* para aquellas muestras que presentaron una distribución no paramétrica.
- El nivel de significancia fue fijado con un  $p \text{ value} < 0.05$ .

*Tabla 2. Características generales de las variables dependientes del estudio.*

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Escala de medición</b>	<b>Unidad de medida</b>
Frecuencia de movimientos oculares (fijaciones, sacadas) y pestaños.	<i>Cuantitativa.</i>	<i>Continua.</i>	Número de eventos/segundos (n°/s).
Duración de movimientos oculares (fijaciones, sacadas).	<i>Cuantitativa.</i>	<i>Continua.</i>	Segundos (seg).
Velocidad de movimientos oculares (fijaciones, sacadas).	<i>Cuantitativa.</i>	<i>Continua.</i>	Grados visuales/segundos (°/seg).
Distancia de movimientos oculares (fijaciones, sacadas).	<i>Cuantitativa.</i>	<i>Continua.</i>	Grados visuales (°).

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Conducta visual.

Para describir los cambios en la conducta visual observados durante la tarea, se utilizó la comparación de los cuatro parámetros de: frecuencia, distancia recorrida, duración y velocidad de los movimientos oculares en ambos grupos.

##### 3.3.1.1. Frecuencia.

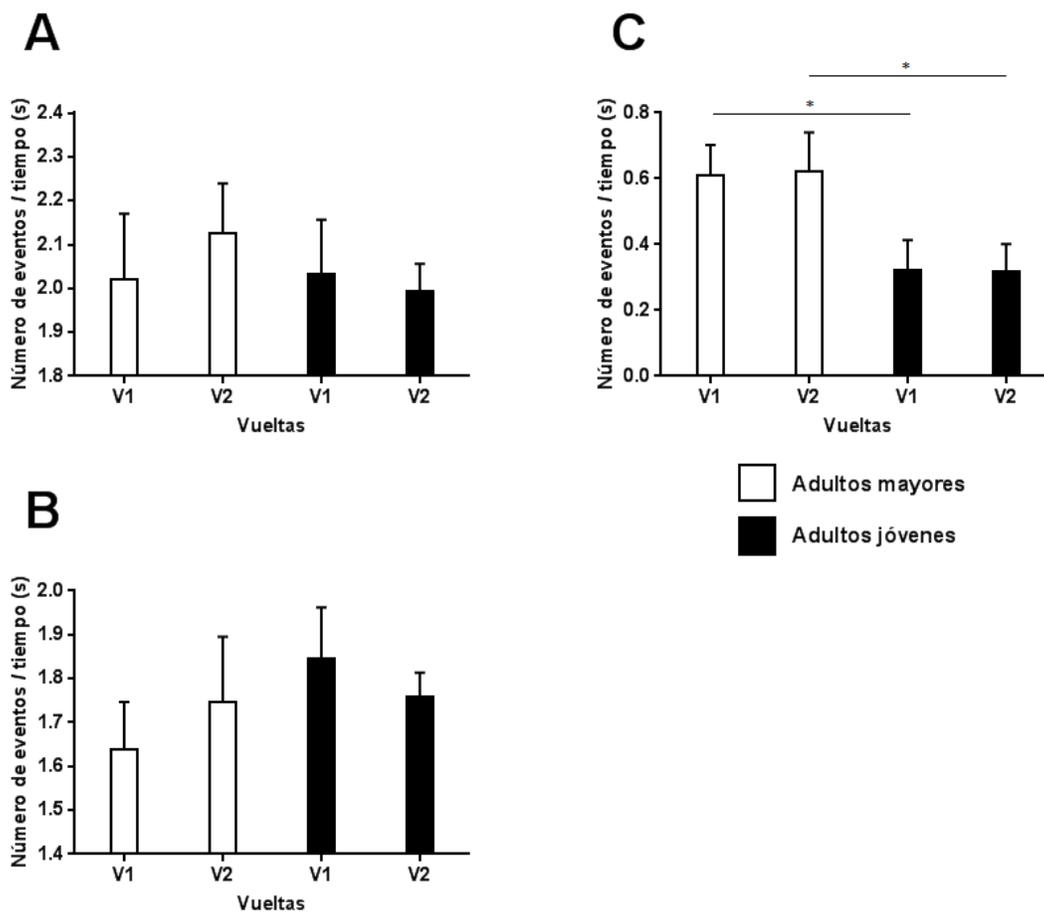
Dado que la duración de cada vuelta entre grupos fue distinta, y la frecuencia de movimientos oculares y pestañeos fue calculada para cada vuelta como el cociente entre el número de eventos y el tiempo total (en segundos).

El análisis consideró la comparación del tipo de distribución de los datos mediante *lillietest* obteniéndose una distribución paramétrica para ambos grupos en frecuencia de fijaciones y sacadas y una distribución no paramétrica en las frecuencias de pestañeo. Para el análisis estadístico se utilizó una prueba para variables paramétrica, *t test*, y una prueba para variables no paramétricas, *ranksum test*. El nivel de significancia fue fijado para  $p < 0.05$ .

- En relación a la frecuencia de las fijaciones de los sujetos, los resultados revelan que el grupo de adultos mayores ( $2,021 \pm 0,14$  primera vuelta;  $2,126 \pm 0,11$  segunda vuelta) (promedio  $\pm$  error estándar) y el grupo de adultos jóvenes ( $2,033 \pm 0,12$  primera vuelta;  $1,993 \pm 0,06$  segunda vuelta) no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p$ -value 0,947 para la primera vuelta y  $p$ -value 0,284 para la segunda vuelta) entre ellos, ni entre las dos vueltas contempladas de la tarea (**Figura 5A**).
- En relación a la frecuencia de las sacadas de los sujetos, los resultados revelan que el grupo de adultos mayores ( $1,637 \pm 0,1$  primera vuelta;  $1,747 \pm 0,14$  segunda vuelta) y el grupo de adultos jóvenes ( $1,844 \pm 0,11$  primera vuelta;  $1,759 \pm 0,05$  segunda vuelta) no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p$ -value 0,228 para la primera

vuelta y  $p=0,933$  para la segunda vuelta) entre ellos, ni entre las dos vueltas contempladas de la tarea (**Figura 5B**).

- En relación a la frecuencia de los pestañeos, los resultados revelan diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos, para la primera vuelta ( $p=0,044$ ) y para la segunda vuelta ( $p=0,044$ ), debido a una mayor frecuencia de pestañeos durante la tarea en el grupo de adultos mayores ( $0,608 \pm 0,09$  primera vuelta;  $0,621 \pm 0,11$  segunda vuelta) al ser comparado con el grupo de adultos jóvenes ( $0,322 \pm 0,09$  primera vuelta;  $0,317 \pm 0,08$  segunda vuelta) (**Figura 5C**).

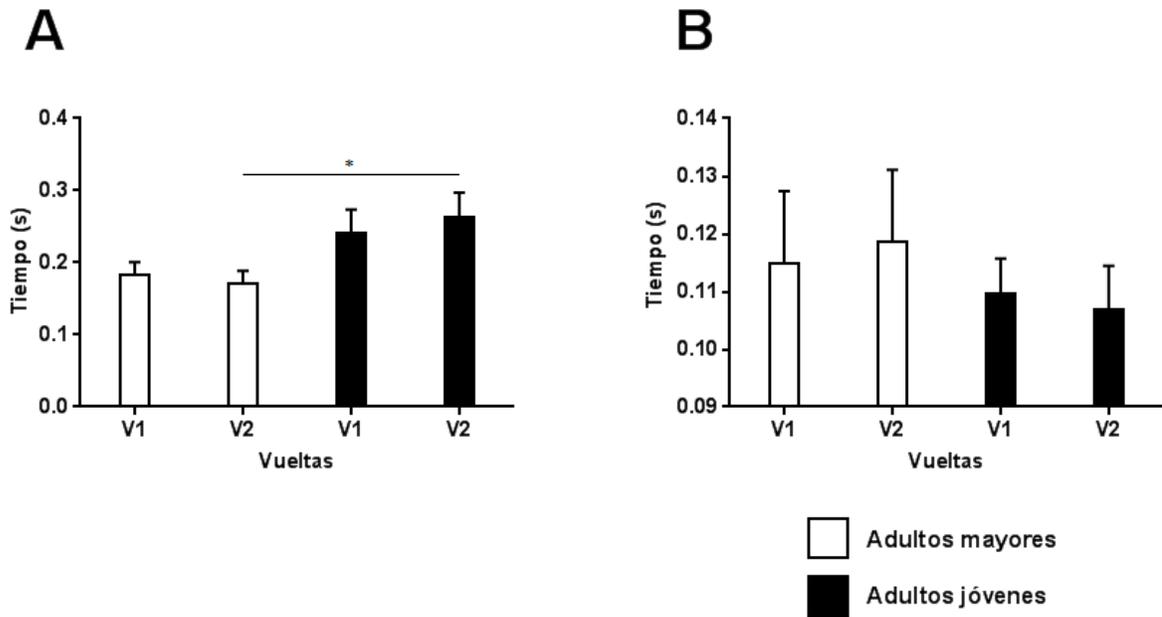


**Figura 5: Frecuencia de movimientos oculares.** Se presenta el promedio  $\pm$  error estándar de la frecuencia de fijaciones (**A**), sacadas (**B**) y pestañeos (**C**) evaluadas en las primeras vueltas del circuito (vuelta 1 (**V1**) y vuelta 2 (**V2**)). Se indica la comparación, entre los dos grupos de sujetos durante ambas vueltas (\*). Toda diferencia indicada tiene una significancia de  $p < 0.05$ .

### 3.3.1.2. Duración.

La duración de los movimientos oculares de fijaciones y sacadas fue determinada para cada vuelta en unidad de tiempo (segundos). En su análisis estadístico el nivel de significancia fue fijado para  $p < 0.05$ .

- En relación a la duración de las fijaciones de los sujetos, los resultados revelan que no existen diferencias estadísticamente significativas ( $p = \text{value } 0,115$ ) en la primera vuelta entre el grupo de adultos mayores ( $0,183 \pm 0,01$ ) y el grupo de adultos jóvenes ( $0,24 \pm 0,03$ ), sin embargo, el tiempo de duración de las fijaciones es menor significativamente ( $p = \text{value } 0,013$ ) en el grupo de AM ( $0,17 \pm 0,01$ ) durante la segunda vuelta en comparación con el grupo de AJ ( $0,262 \pm 0,03$ ) (**Figura 6A**).
- En relación a la duración de las sacadas de los sujetos, los resultados revelan que el grupo de adultos mayores ( $0,114 \pm 0,01$  primera vuelta;  $0,118 \pm 0,01$  segunda vuelta) y el grupo de adultos jóvenes ( $0,109 \pm 0,006$  primera vuelta;  $0,106 \pm 0,007$  segunda vuelta) no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p = \text{value } 0,914$  para la primera vuelta y  $p = \text{value } 0,641$  para la segunda vuelta) entre ellos, ni entre las dos vueltas contempladas de la tarea (**Figura 6B**).

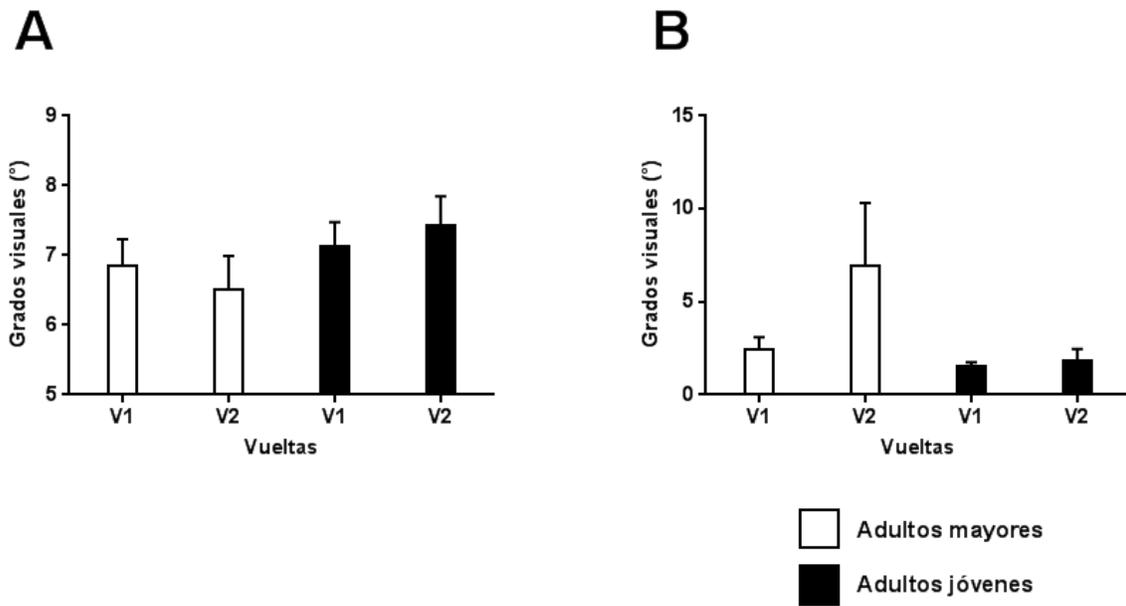


**Figura 6: Duración de movimientos oculares.** Se presenta el promedio  $\pm$  error estándar de la duración de fijaciones (**A**) y sacadas (**B**) evaluadas en las primeras vueltas del circuito (vuelta 1 (**V1**) y vuelta 2 (**V2**)). Se indica la comparación, entre los dos grupos de sujetos durante ambas vueltas (\*). Toda diferencia indicada tiene una significancia de  $p < 0.05$ .

### 3.3.1.3. Distancia.

La distancia recorrida por la mirada en cada movimiento ocular fue determinada para cada vuelta en grados visuales ( $^{\circ}$ ). En su análisis estadístico el nivel de significancia fue fijado para  $p < 0.05$ .

- En relación a la distancia visual recorrida durante los movimientos de fijaciones de los sujetos, los resultados revelan que el grupo de adultos mayores ( $6,842 \pm 0,49$  primera vuelta;  $6,512 \pm 0,48$  segunda vuelta) y el grupo de adultos jóvenes ( $7,134 \pm 0,44$  primera vuelta;  $7,43 \pm 0,51$  segunda vuelta) no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p = \text{value } 0,947$  para la primera vuelta y  $p = \text{value } 0,284$  para la segunda vuelta) entre ellos, ni entre las dos vueltas contempladas de la tarea (**Figura 7A**).
- En relación a la distancia visual recorrida durante los movimientos de sacadas de los sujetos, los resultados revelan que el grupo de adultos mayores ( $2,436 \pm 0,68$  primera vuelta;  $6,956 \pm 4$  segunda vuelta) y el grupo de adultos jóvenes ( $1,533 \pm 0,21$  primera vuelta;  $1,862 \pm 0,6$  segunda vuelta) no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p = \text{value } 0,337$  para la primera vuelta y  $p = \text{value } 0,455$  para la segunda vuelta) entre ellos, ni entre las dos vueltas contempladas de la tarea (**Figura 7B**).

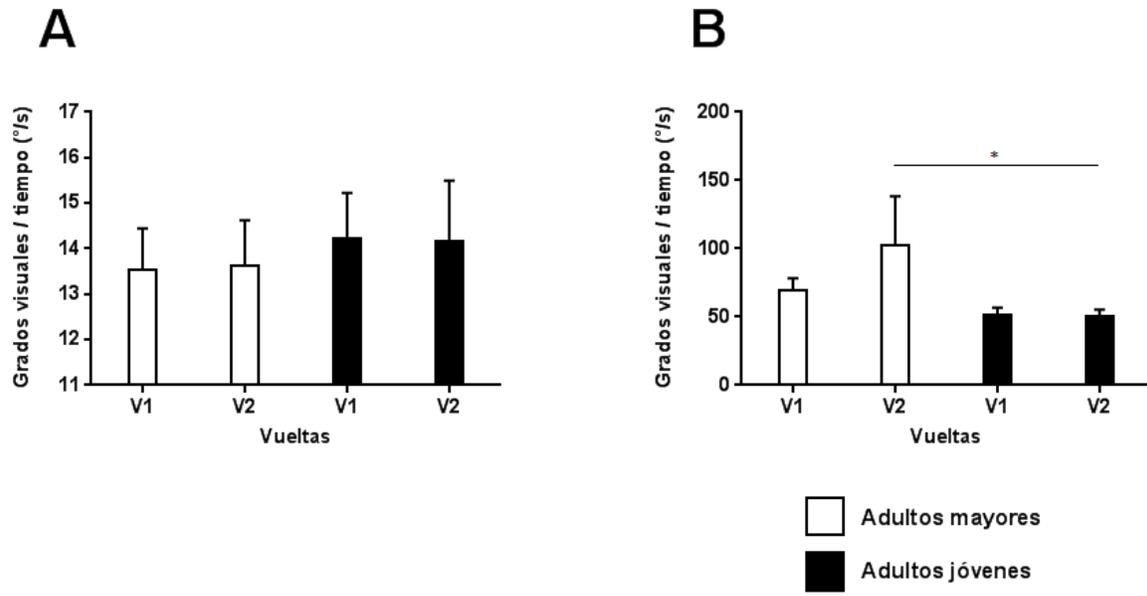


**Figura 7: Distancia de movimientos oculares.** Se presenta el promedio  $\pm$  error estándar de la distancia de fijaciones (**A**) y sacadas (**B**) evaluadas en las primeras vueltas del circuito (vuelta 1 (**V1**) y vuelta 2 (**V2**)). Se indica la comparación, entre los dos grupos de sujetos durante ambas vueltas. Toda diferencia indicada tiene una significancia de  $p < 0.05$ .

#### 3.3.1.4. Velocidad.

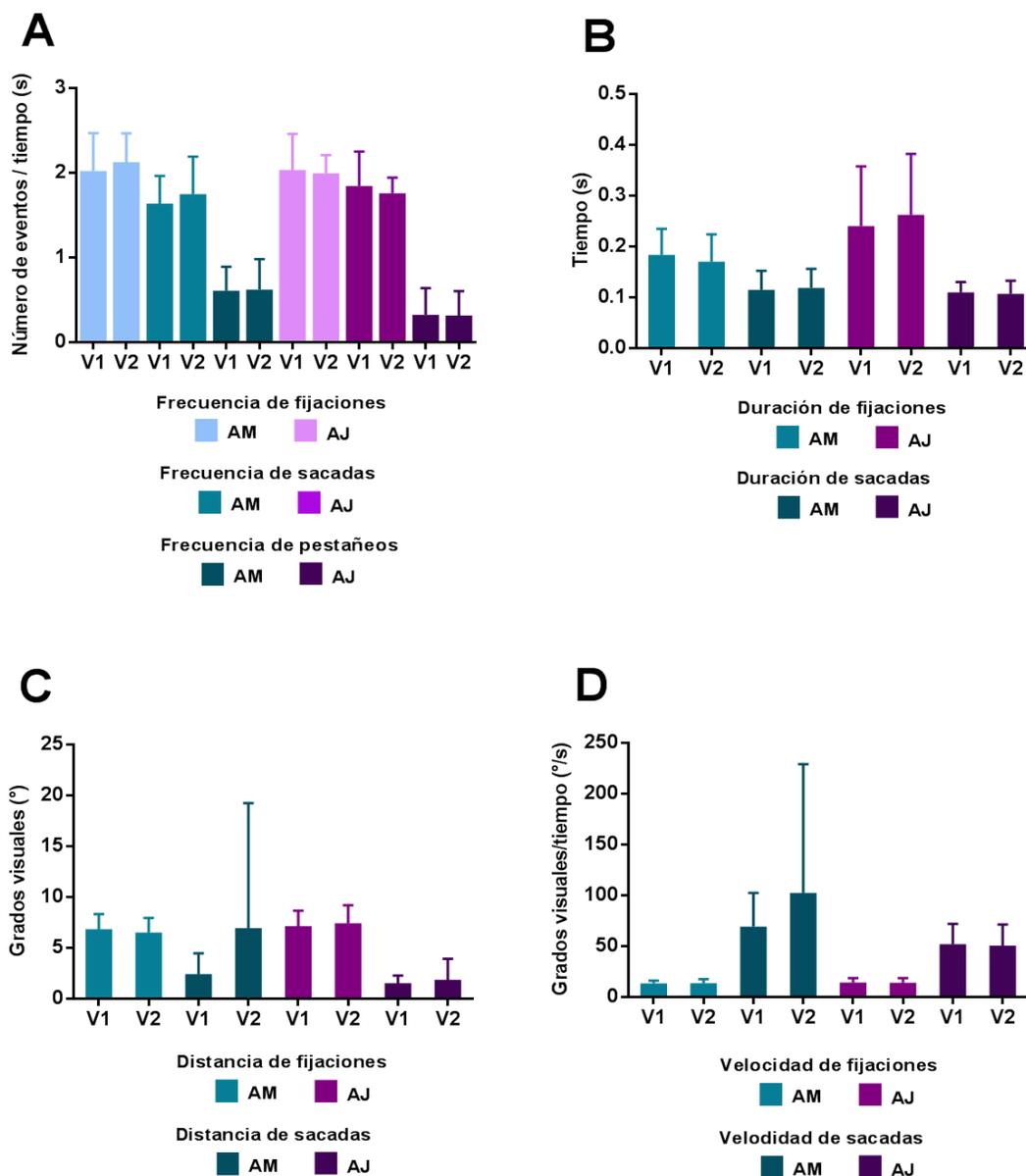
La velocidad de cada movimiento ocular fue determinada para cada vuelta en grados visuales alcanzados en el tiempo ( $^{\circ}/s$ ). En su análisis estadístico el nivel de significancia fue fijado para  $p < 0.05$ .

- En relación a la velocidad visual alcanzada durante los movimientos de fijaciones de los sujetos, los resultados revelan que el grupo de adultos mayores ( $13,52 \pm 0,9$  primera vuelta;  $13,62 \pm 1$  segunda vuelta) y el grupo de adultos jóvenes ( $14,22 \pm 1$  primera vuelta;  $14,15 \pm 1,3$  segunda vuelta) no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p = \text{value } 0,24$  para la primera vuelta y  $p = \text{value } 0,499$  para la segunda vuelta) entre ellos, ni entre las dos vueltas contempladas de la tarea (*Figura 8A*).
- En relación a la velocidad visual alcanzada durante los movimientos de sacadas de los sujetos, los resultados revelan que no existen diferencias estadísticamente significativas ( $p = \text{value } 0,24$ ) durante la primera vuelta entre el grupo de adultos mayores ( $69,26 \pm 11$ ) y el grupo de adultos jóvenes ( $51,93 \pm 6$ ), sin embargo, la velocidad de las sacadas es más rápida significativamente ( $p = \text{value } 0,042$ ) en el grupo de adultos mayor ( $102,3 \pm 42$ ) durante la segunda vuelta del circuito en comparación con el grupo de adulto joven ( $50,44 \pm 6$ ) (*Figura 8B*).



**Figura 8: Velocidad de movimientos oculares.** Se presenta el promedio  $\pm$  error estándar de la distancia de fijaciones (**A**) y sacadas (**B**) evaluadas en las primeras vueltas del circuito (vuelta 1 (**V1**) y vuelta 2 (**V2**)). Se indica la comparación, entre los dos grupos de sujetos durante ambas vueltas (\*). Toda diferencia indicada tiene una significancia de  $p < 0.05$ .

Finalmente el relación al análisis intra-grupos, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la primera y la segunda vuelta para cada una de las variables analizadas, según el nivel de significancia que fue fijado para  $p < 0.05$ . En la **Figura 9** se grafican los resultados estos resultados.



**Figura 9: Variable de los movimientos oculares.** Se presenta el promedio  $\pm$  desviación estándar de la frecuencia (A), duración (B), distancia (C), velocidad (B) de fijaciones, sacadas y pestañeos en ambas poblaciones para la comparación entre vueltas del circuito (vuelta 1 (V1) y vuelta 2 (V2)). Toda diferencia indicada tiene una significancia de  $p < 0.05$ , en esta comparación intra-grupos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

### 3.4. Discusión

A medida que exploramos el mundo que nos rodea, los sistemas sensitivos y motores interactúan influenciando el control del movimiento, equilibrio y postura, estabilizando nuestros ojos en el espacio para la recepción de los estímulos externos. Actualmente las teorías de control motor concuerdan en que el individuo no puede ser estudiado sin la relación con su medio y, tampoco, puede comprenderse el movimiento humano sin considerar la percepción y cognición humana (*Wolpert et al., 2011*). El control motor se centra en la comprensión del movimiento ya adquirido y el aprendizaje motor en el conocimiento de cómo se adquiere y/o modifica el movimiento a través de una re-adquisición de éste (*Raine, 2007*).

Con el envejecimiento, los cambios en los sistemas sensoriales humanos no son uniformes sino que dependen de áreas específicas en estos sistemas (*Allison et al., 1984; Kuba et al., 2012*) siendo un proceso progresivo, intrínseco y universal que ocurre con el tiempo.

A nivel del sistema visual, la pérdida con la edad de la capacidad de agudeza visual se debe a la disminución en el número de bastones (aproximadamente en un 3% por década) y conos (declinan un 1,8% por década). El diámetro del segmento externo de los bastones periféricos y la densidad óptica de la rodopsina aumenta, y el tiempo necesario para recuperar la sensibilidad visual al seguir un objetivo disminuye. Además el daño oxidativo acumulado contribuye a la pérdida de fotorreceptores (*Blanks y Dorey, 2009*).

También, se describen cambios en la corteza frontal y temporal asociados con el envejecimiento (*Stahl, 1999*) reportándose una alta tasa de error en las antisacadas formuladas por los sujetos de edad avanzada, indicando que existe una disminución en la integridad de la corteza prefrontal dorsolateral y los campos oculares frontales que son los implicados en la realización correcta de las antisacadas (*Butler et al., 1999*).

La presente investigación se desarrolló teniendo en cuenta la importancia del sistema visual para la ejecución de tareas y la mantención de una locomoción segura en esta interacción constante con el medio que nos rodea. Considerando el deterioro natural de los sistemas

involucrados en el control motor, en la disminución del procesamiento de las aferencias con el paso del tiempo y, por lo tanto, en el cambio de la selección de estrategias visuomotoras, emerge la necesidad de caracterizar la conjugación de las diferentes variables de interés identificadas en los movimientos oculares durante la tarea de marcha con obstáculos y su relación con el envejecimiento, comparando a adultos mayores y adultos jóvenes no sedentarios.

En relación a los resultados obtenidos, éstos nos permiten sugerir aspectos de las estrategias visuales desplegadas por ambos grupos durante dicha tarea visuomotora. El primer aspecto a comentar es el cambio en la conducta general y en la selección de movimientos oculares, si bien sólo se aprecian resultados estadísticamente significativos en la cantidad de pestaños empleado por el grupo de adultos mayores (que fue mayor, en comparación a la cantidad empleada por los sujetos jóvenes en el tiempo), también se aprecia la tendencia de un aumento en la frecuencia de fijaciones y los datos sugieren disminución en la frecuencia de movimientos sacádicos en los adultos mayores (*Figura 5*), lo que se condice con lo descrito anteriormente por la literatura y con la variable de duración de dichos movimientos, ya que, la tendencia de los resultados fue una relación inversamente proporcional entre la duración y la frecuencia, en los adultos mayores hubo una mayor duración de movimientos sacádicos y una menor duración de fijaciones, sin embargo, sólo se registraron resultados estadísticamente significativos en la duración de las fijaciones para la segunda vuelta (*Figura 6*).

Otro aspecto a discutir fue la distancia recorrida durante los movimientos oculares de los sujetos, en ambos grupos la distancia fue mayor para las sacadas y menor para las fijaciones, la tendencia también muestra una mayor distancia para fijaciones y una menor para las sacadas en adultos jóvenes, a diferencia de los resultados de distancia en los adultos mayores, comparando ambos grupos entre sí (*Figura 7*). Este comportamiento se relaciona con la variable de frecuencia de los movimientos oculares, ya que a mayor distancia de captación de información del medio y los objetos, menor será el número de fijaciones/sacadas requeridas,

pero dichas relaciones no resultan ser estadísticamente significativas al comparar la primera y la segunda vuelta en el circuito.

La otra variable considerada en este estudio fue la velocidad de los movimientos oculares, la cual resultó ser significativamente mayor en las sacadas del grupo de adultos mayores, al compararlas con los sujetos jóvenes durante la segunda vuelta, siendo acorde a la tendencia general (mayor velocidad de fijaciones y menor en sacadas para los sujetos jóvenes, mayor velocidad de sacadas y menor de fijaciones en adultos mayores) de los resultados (*Figura 8*).

Podemos explicar los cambios en estas estrategias mediante estudios previos que indican un incremento necesario del feedback visual para estimar la posición de los objetos y optimizar la integración de la información visual que el ambiente proporciona, como una herramienta empleada por las personas mayores, y que se traduce en la generación de cambios en el sistema nervioso central, siendo la plasticidad cortical uno de los mecanismos que compensa las degradaciones producidas naturalmente con la edad (*Zhang et al., 2011*).

Con la caracterización de todos estos resultados la tendencia muestra diferencias en las estrategias visuales empleadas por los sujetos del grupo de adultos mayores al compararlos con los adultos jóvenes, pero las infinitas conjugaciones de las diferentes variables contempladas necesitan ser determinadas en investigaciones con una muestra mucho mayor para ser concluyentes y considerando un mayor número más variables, siendo necesario relacionar los puntos de interés de los objetos a la interacción sujeto-ambiente, por lo tanto, los hallazgos aquí descritos amplían el conocimiento respecto a la conducta visual de los adultos mayores, especialmente considerando el contexto de la tarea de marcha.

### **3.4.1. Limitaciones del estudio.**

El hecho de desarrollar un estudio experimental por conveniencia en un ambiente físico no controlado, expuesto a una luminosidad variable (normal considerando el movimiento rotacional de la tierra) y a los ruidos ambientales de un contexto universitario, significó en el proceso varias dificultades para lograr una óptima calidad de los registros.

En relación al sistema de registro ocular portátil utilizado (*Eye-tracker*) se presentaron problemas técnicos y de manipulación que retardaron el proceso de la toma de registros y significó una reducción del número total de sujetos de la población para conformar una muestra representativa. Por otro lado, hoy en día el desarrollo de tecnología de infrarrojos de seguimiento ocular no invasivas ha posibilitado el conocimiento de la conducta de la exploración visual a través de una amplia gama de tareas experimentales. Comúnmente, la percepción del comportamiento, representada como una trayectoria de exploración, se analiza en períodos de fijaciones y sacadas utilizando una variedad de algoritmos. Las variantes y combinaciones de estos algoritmos incluyen los mecanismos para corregir los errores en el seguimiento de los ojos, tales como parpadeos y otras pérdidas temporales de la señal (*Wass et al., 2013*). Los sistemas de seguimiento ocular pueden a su vez generar diferentes niveles de ruido instrumental, que pueden por ejemplo, provenir de errores de muestreo y procesamiento de imágenes de un video *Eye-Tracker*, el movimiento de la cabeza en relación al observador hacia el *Eye-Tracker* hasta las perturbaciones ambientales. Por lo que un método más objetivo para la clasificación de los datos sería deseable (*Mould et al., 2012*) para futuras investigaciones.

Otra limitación de la investigación fueron los métodos de evaluación y preparación de los sujetos previos a la ejecución de la tarea, para determinar de una manera más cuantificable y objetiva la calidad de su marcha, problemas de equilibrio, indemnidad del sistema visual, presencia de patologías crónicas controladas fisiológicamente, etc., instrumentos fuera de las posibilidades de acceso económico, ya que el set-up se diseñó e implementó gracias al

financiamiento de la Dirección de investigación de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, resultando una prueba ecológica y sencilla, perfectible estructuralmente para eventuales investigaciones que cuenten con una mayor cantidad de recursos.

El acceso a la población de adultos mayores también fue restringido, por falta de adhesión del grupo y motivos de coordinación horaria para desarrollar los registros.

### ***3.4.2. Proyecciones del estudio.***

Debido a las limitaciones de tiempo no fue posible analizar las diferencias existentes comparando otras variables a nivel de las estrategias visuales utilizadas por los sujetos de estos dos grupos etarios para su mejor caracterización, como por ejemplo: regiones de interés de los objetos, diferencias entre las primeras y las últimas vueltas realizadas de la tarea, la secuencia temporal de los diferentes movimientos oculares. Así como también, se requiere aumentar el espectro de población, en relación a la cantidad, rangos etarios y a la condición física y estado de salud de los sujetos (por ejemplo: sujetos no entrenados o con algún tipo patología no invalidante).

Se ha descrito también la relación de los objetos con la respuesta visuomotora, por lo que sería relevante interpretar la conducta de los sujetos ante diferentes obstáculos, además de relacionar el sistema motor con el resto de los sentidos y teorías de control motor y aprendizaje, emulando situaciones cotidianas en un contexto experimental.

Uno de los retos actuales en salud tiene que ver con la prevención del adulto mayor, por lo que, identificar aquellos factores asociados con los principales problemas de caídas es clave (*Kemmler et al., 2010*), por lo tanto, precisa ser incorporada la conceptualización del sistema visual como un elemento de relevancia para la independencia motora y como un aspecto complementario importante en la intervención terapéutica, rehabilitación kinésica y/o entrenamiento.

#### 4. CONCLUSIONES

A medida que exploramos el mundo que nos rodea, los sistemas sensitivos y motores interactúan en el control del movimiento, equilibrio y postura. La visión resulta ser un interfaz que proporciona el sistema nervioso central con la información importante sobre el medio ambiente, existiendo la necesidad de determinar si las estrategias visuales se encuentran afectadas por el envejecimiento.

Nuestros resultados sugieren que los adultos mayores poseen una mayor dependencia de los inputs visuales, mayores dificultades para seguir visualmente el obstáculo durante la marcha y requieren más tiempo para procesar la información visual entregada por la tarea producto de una capacidad visual alterada o por el menor tiempo de respuesta visual, expresado en una estrategia compensatoria con un mayor número de pestañeos para reacomodar y lubricar el globo ocular, un menor tiempo de duración de fijaciones –tendiendo a ser inversamente proporcional a su frecuencia-, y movimientos sacádicos más veloces para captar una mayor cantidad de información del ambiente.

Aunque en este estudio no fue posible determinar si los participantes de mayor edad seleccionan la misma información visual que los jóvenes, al no medir la ubicación de la mirada, esta investigación proporciona información relacionada con las tendencias de las diferencias en las estrategias visuales de los adultos mayores durante la locomoción y la importancia de generar mayores conocimientos del estudio perceptual y motor en condiciones naturales, en otras actividades cotidianas y eventualmente en la determinación de los cambios de otras variables en las estrategias visuales producto del envejecimiento, ratificando la importancia de generar intervenciones terapéuticas, de rehabilitación y entrenamiento innovadoras.

## 5. REFERENCIAS

1. Allison T, Hume AL, Wood CC, Goff WR (1984). *Developmental and aging changes in somatosensory, auditory and visual evoked potentials. Electroen-cephalogr. Clin. Neurophysiol.* 58 ;14–24.
2. Babcock J, Pelz J (2004). *Building a lightweight eyetracking headgear. Rochester Institute of Technology.*
3. Ballard DH, Brown CM (1992). *Principles of animate vision. CVGIP: Image Understanding.* 56 ;3–21.
4. Becker, W (1991). *Saccades. In R. H. S. Carpenter (Ed.) Vision and visual dysfunction, Vol. 8 ;95–137.*
5. Barnes, S (2011). *Third Age - The Golden Years of Adulthood.* San Diego State University Interwork Institute.
6. Best JR (2010). *Effects of physical activity on children's executive function: contributions of experimental research on aerobic exercise. Developmental Review* 30 ;331–351
7. Blanks J. C., Dorey C. K. (2009). *Sensory Aging: Vision.* Florida Atlantic University, FL, USA.
8. Bohannon RW, Andrews AW, Thomas MW (1996). *Walking speed: reference values and correlates for older adults. J Orthop Sports Phys Ther ;24:86–90.*
9. Bohannon RW (2007). *Number of pedometer-assessed steps taken per day by adults: a descriptive meta-analysis. Phys Ther ;87:1642–50.*
10. Broman, A (2004). *Divided Visual Attention as a Predictor of Bumping while Walking: The Salisbury Eye Evaluation. Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol. 45, No. 9.*
11. Buchner DM, Beresford SA, Larson EB, LaCroix AZ, Wagner EH (1992). *Effects of physical activity on health status in older adults. II. Intervention studies. Annu Rev Public Health ;13:469–88.*

12. Buswell GT (1935). *How people look at pictures: A study of psychology of perception in art*. University of Chicago Press.
13. Butler KM, Zacks RT, Henderson JM (1999). *Suppression of reflexive saccades in younger and older adults: age comparisons on an antisaccade task*. *Mem Cognit* 27(4) ;584–91.
14. Carpenter RH (1977). *Movements of the eyes*. UK, London.
15. Chapman GJ, Hollands M (2006). *Evidence for a link between changes to gaze behavior and risk of falling in older adults during adaptive locomotion*. *Gait Posture* ;24:288–94.
16. Chapman GJ, Hollands MA (2010). *Age-related differences in visual sampling requirements during adaptive locomotion*. *Experimental Brain Research*; 201:467–78.
17. Costello E, Edelstein JE (2008). *Update on falls prevention for community-dwelling older adults: review of single and multifactorial intervention programs*. *J Rehabil Res Dev* ;45:1135-52.
18. Cress ME, Buchner DM, Questad KA, Esselman PC, deLateur BJ, Schwartz RS (1999). *Exercise: effects on physical functional performance in independent older adults*. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* ;54:M242–8.
19. Dewhurst R, Nyström M, Jarodzka H, Foulsham T, Johansson R, Holmqvist K (2012). *It depends on how you look at it: scan path comparison in multiple dimensions with MultiMatch, a vector-based approach*. *Behav Res Methods* ;44:1079–100.
20. Duchowski, AT (2007). *Eye tracking methodology: Theory and practice*. London: Springer.
21. Duchowski AT (2002). *A breadth-first survey of eye-tracking applications*. *Behav Res Meth Instrum Comput* ;34:455–70.
22. Etnier JL, Nowell PM, Landers DM, Sibley BA (2006). *A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance*. *Brain Research Reviews* 52 ;119–130.

23. Franch O (2009). *Trastornos del movimiento: Conferencias*. Hospital Universitario de Getafe. Alteraciones de la marcha en el anciano. Servicio de Neurología. Hospital Ruber. Madrid.
24. González CG, Marín LP, Pereira ZG (2011). *Características de las caídas en el adulto mayor que vive en la comunidad*. Rev Med Chile. 129:1021-30.
25. Harris MG, Carré G (2001). *Is optic flow used to guide walking while wearing a displacing prism?* Perception 30 ;811–818.
26. Harris M, Bonas W (2002). *Optic flow and scene structure do not always contribute to the control of human walking*. Vision Research 42 ;1619–1626.
27. Hayhoe M, Ballard D (2005). *Eye movements in natural behavior*. *TRENDS in Cognitive Sciences*. Vol.9 No.4.
28. Heasley K, Buckley J, Scally A, Twigg P, Elliott D (2004). *Stepping Up to a New Level: Effects of Blurring Vision in the Elderly*. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol. 45 No. 7.
29. Henderson, JM (2003). *Human gaze control during real-world scene perception*. Trends in Cognitive Sciences 7(11) ;498–504.
30. Kennedy P, Carlsen A, Inglis J, Chow R, Franks I, Chua R (2003). *Relative contributions of visual and vestibular information on the trajectory of human gait*. Exp Brain Res ;153:113–7.
31. Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF (2008). *Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition*. Nature Reviews. Neuroscience 9 ;58–65.
32. Hollands MA, Marple-Horvat DE, Henkes S, Rowan AK (1995). *Human Eye movements during visually guided stepping*. J Motiv Behav ;27:155–63.
33. Hollingworth A, William C, Henderson JM (2001). *To see and remember: Visually specific information is retained in memory from previously attended objects in natural scenes*. Psychon. Bull. Rev. 8;761–768.

34. Irwin D (1992). *Memory for position and identity across eye movements. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, Vol 18, No. 2 :307-317.
35. Johnson L, Buckley JG, Harley C, Elliott DB (2008). *Use of single-vision eyeglasses improves stepping precision and safety when elderly habitual multi-focal wearers negotiate a raised surface. J Am Geriatr Soc* 56(1); 178-180.
36. Jovancevic J, Sullivan B, Hayhoe M (2006). *Control of attention and gaze in complex environments. J Vis* 6 ;1431–1450.
37. Jovancevic-Misic J, Hayhoe M (2009). *Adaptive Gaze Control in Natural Environments. The Journal of Neuroscience* ;29(19):6234–6238.
38. Kaas JH, Collins CE (2003). *The organization of somatosensory cortex in anthropoid primates. Adv. Neurol.* ;57-67.
39. Keller C, Bockisch C, Dietz V, Hegemann S, Straumann D, Van Hedel H (2011). *Gaze strategies for avoiding obstacles: Differences between young and elderly subjects. Gait Posture* ; 34:340-346.
40. Kemmler W, von Stengel S, Mayer S, Engelke K, Kalender WA (2010). *Exercise effects on risk factors and health care costs in the elderly. Final results of the senior fitness and prevention study (SEFIP). Deutsche Zeitschrift Fur Sportmedizin* ;61:264-9.
41. Klein C, Fischer B, Hartnegg K, Heiss WH, Roth M (2000). *Optomotor and neuropsychological performance in old age. Exp Brain Res* 135(2) ;141–54.
42. Komogortsev OV, Karpov A (2013). *Automated classification and scoring of smooth pursuit eye movements in the presence of fixations and saccades. Behav Res Methods* ;45:203–15.
43. Kramer AF, Erickson KI, Colcombe S (2012). *Exercise, cognition, and the aging brain. Journal of Appl Kuba M, Kremlacek J, Langrova J, Kubova Z, Szanyi J, Vit F. Aging effect in pattern, motion and cognitive visual evoked potentials. Vision Res. 62 ;9–16.ied Physiology* 101 2006;1237–1242.

44. Land M (1997). *Visual acuity in insects*. Annual Review of Entomology Vol. 42 ;147-177.
45. Land M, Mennie N, Rusted J (1999). *The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living*. Perception, Vol. 28 ;1311-1328.
46. Land M, Tatler B (2009). *Looking and acting: vision and eye movements in natural behaviour*. Oxford University.
47. Latash ML (2008). *Synergy*. Oxford University Press ;30-35.
48. Lee B, Pesaran B, Andersen RA (2011). *Area MSTd neurons encode visual stimuli in eye coordinates during fixation and pursuit*. J Neurophysiol ;105:60–8.
49. Lord SR, Clark RD, Webster IW (1991). *Visual acuity and contrast sensitivity in relation to falls in an elderly population*. Age Ageing 20 ;175-181.
50. Lord SR, Ward JA, Williams P, Anstey KJ (1994). *Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women*. J Am Geriatr Soc ;42:1110–7.
51. Lord SR, Dayhew J (2001). *Visual risk factors for falls in older people*. J Am Geriatr Soc. ;49(5):508-15.
52. Lumpkin EA, Marshall KL, Nelson AM (2010). *The cell biology of touch*. J. Cell Biol.191 ;237–248.
53. Manini TM, Newman AB, Fielding R, Blair SN, Perri MG, Anton SD (2010). *Effects of exercise on mobility in obese and nonobese older adults*. Obesity (Silver Spring) ;18:1168–75.
54. McAlonan K, Cavanaugh J, Wurtz RH (2008). *Guarding the gateway to cortex with attention in visual thalamus*. Nature ;456:391–4.
55. Menz HB, Lord SR, Fitzpatrick RC (2003). *Acceleration patterns of the head and pelvis when walking on level and irregular surfaces*. Gait Posture ;18:35-46.
56. Mollenbach E (2010). *Selection Strategies: in Gaze Interaction* ;17- 22.
57. Mould, MS, Foster DH, Amano K, Oakley JP (2012). *A simple nonparametric method for classifying eye fixations*. Vision Research, 57 ;18-25; 016.

58. Najemnik J, Geisler WS (2005). *Optimal eye movement strategies in visual search*. Nature ;434:387–91.
59. OPS/OMS (1985). *Hacia el bienestar de los ancianos*. Publicación Científica N° 492. Washington D.C. U.S.A.
60. Pahor M, Blair SN, Espeland M, Fielding R, Gill TM, Guralnik JM (2006). *Effects of a physical activity intervention on measures of physical performance: results of the lifestyle interventions and independence for Elders Pilot (LIFE-P) study*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci ; 61:1157–65.
61. Park DC, Reuter-Lorenz PA (2009). *The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding*. Annual Review of Psychology 60 ;173–196.
62. Patla A (1997). *Understanding the roles of vision in the control of human locomotion*. Gait Posture ;5:54–69.
63. Patla A, Niechwiej E, Racco V (2002). *Understanding the contribution of binocular vision to the control of adaptive locomotion*. Experimental Brain Research 142, Vol. 4 ;551-561.
64. Pelz J, Hayhoe M. y Loeber R (2001). *The coordination of eye, head, and hand movements in a natural task*. Experimental Brain Research 139(3) ;266–277.
65. Purves D, Augustines G. et al (2004). *Neuroscience: third edition. Somatosensitive system* ;203-210.
66. Raine S (2007). *Current theoretical assumptions of the Bobath Concept as determined by the members of BBTA*. Physiother Theory P. ract. 23 (3) ;137–52.
67. Rayner K (1998). *Eye movements in reading and information processing: 20 years of research*. Psychological Bulletin 124 ;372-422.
68. Shebilske L, Fisher F (1983). *Eye movements and context effects during reading of extended discourse*. En Eye movements in reading: Perceptual and language processes Rayner K. (ed.). New York: Academic Press.

69. Sibley BA, Etnier JL (2003). *The relationship between physical activity and cognition in children: a meta-analysis*. *Pediatric Exercise Science* 15 ;243–256.
70. Singh MA (2004). *Exercise and aging*. *Clinics in Geriatric Medicine* 20;201–221.
71. Stahl JS (1999). *Amplitude of human head movements associated with horizontal saccades*. *Exp Brain Res* 126(1);41–54.
72. Tinetti ME, Williams TF, Mayewski R (1986). *Falls risk index for elderly patients based on Lumber of chronic disabilities*. *Am J Med* ; 80:429-34.
73. Vera SM, Campillo MR (2003). *Evaluación de la marcha y el equilibrio como factor de riesgo en las caídas del anciano*. *Rev Cub Med Gen Intergr* ;19:5-6.
74. Villar T (2007). *Gait disturbance, instability and falls*. *Tratado de geriatría para residentes* ;199-209.
75. Volkman FC (1986). *Human visual suppression*. *Vision Res*. Vol. 26, No. 9;1401-1416.
76. Warren W, Kay B, Zosh W, Duchon A, Sahuc S (2001). *Optic flow is used to control human walking*. *Nature Neuroscience*, Vol. 4;213–216.
77. Wass SV, Smith TJ, Johnson MH (2013). *Parsing eye-tracking data of variable quality to provide accurate fixation duration estimates in infants and adults*. *Behav ResMethods* ;45:229–50.
78. Wolpert DM, Diedrichsen F, Flanagan J (2011). *Principles of sensorimotor learning*. *Nature Reviews Neuroscience* ;1-13.
79. Yarbus, AL. (1967). *Eye movements and vision*. New York: Plenum.
80. Zhang Z, Francisco EM, Holden JK, Dennis, RG, Tommerdahl M (2011). *Somatosensory information processing in the aging population*. *Front. Aging Neurosci.* 3;18.

## 6. ANEXOS

### 6.1. Consentimiento informado

#### REGISTRO DE MOVIMIENTOS OCULARES CON UN EQUIPO PORTÁTIL DE VIDEOCULOMETRÍA

Usted ha sido invitado(a) a participar en el estudio: “*Comparación de estrategias visuales entre sujetos adultos mayores de la tercera edad y jóvenes en una tarea de marcha con obstáculos*”, a cargo de los investigadores Juan José Mariman y Joel Álvarez Ruf, kinesiólogos docentes de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación actividad que se realizará en las dependencias del Campus Joaquín Cabezas de dicha institución.

El objetivo principal de este trabajo es determinar las diferencias en la estrategia visual empleada por sujetos adultos mayores de la tercera edad y adultos jóvenes durante la marcha con obstáculos.

Si acepta participar en este estudio requerirá utilizar un equipo portátil externo de videoculometría (*Eye-Tracker*) con el objetivo de registrar el movimiento de los ojos a través de cámaras compactas no invasivas, las cuales no provocan daño en el ojo humano.

Esta actividad será coordinada y ejecutada por los estudiantes de kinesiología Eric Palma B. y María José Véliz P. La prueba se efectuará de manera personal y el tiempo estipulado es de tres minutos aproximadamente. Su participación es totalmente voluntaria y podrá abandonar la investigación sin necesidad de dar ningún tipo de explicación o excusas y sin que ello signifique algún perjuicio o consecuencia para usted.

Además tendrá el derecho a no responder preguntas si así lo estima conveniente. La totalidad de la información obtenida será de carácter confidencial, para lo cual los informantes serán identificados con código, sin que la identidad de los participantes sea requerida o escrita en los registros del *Eye-Tracker*. Los datos recogidos serán analizados en el marco de la presente investigación y su presentación será efectuada de manera que los usuarios no puedan ser individualizados.

Su participación en este estudio no le reportará beneficios personales, no obstante, los resultados del trabajo constituirán un aporte al conocimiento en torno a la importancia del sistema visual en el tratamiento kinésico.

Si tiene consultas respecto de esta investigación, puede contactarse con el investigador responsable, docente Juan José Mariman al teléfono 81928168 o a su mail jjmariman@gmail.com.

Si desea efectuar consultas respecto de sus derechos como participante puede contactar al Comité de Ética de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación a través de la Dirección de Investigación de la UMCE al teléfono 2412440.

Por medio del presente documento declaro haber sido informado de lo antes indicado, y estar en conocimiento del objetivo del estudio “*Comparación de estrategias visuales entre sujetos adultos mayores de la tercera edad y jóvenes en una tarea de marcha con obstáculos*”.

Manifiesto mi interés de participar en este estudio y he recibido un duplicado firmado de este documento que reitera este hecho.

Acepto participar en el presente estudio (Firma y Nombre)

---

Fecha: \_\_\_\_\_

## 6.2. Acta de aprobación del comité de ética UMCE



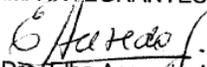
UNIVERSIDAD METROPOLITANA  
DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN  
VICERRECTORÍA ACADÉMICA  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

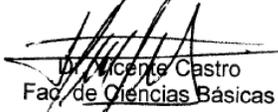
### ACTA DE PROTOCOLO DEL COMITÉ DE ETICA UMCE

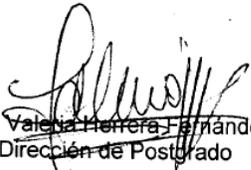
1. MIEMBROS DEL COMITÉ:
  1. Dra. Elba Acevedo Jones. Profesora Titular. Depto. Biología. UMCE
  2. Profesora Mg. Dina Escobar Guic. Profesora Asociada. Depto. de Historia y Geografía. UMCE
  3. Dr. Vicente Castro. Profesor Asociado. Depto. Química. UMCE
  4. Dr. Marcelo González Orb. Profesor Titular. Depto. Educación Física, Deportes y Recreación. UMCE.
  5. Dra. Valeria Herrera Fernández. Profesora Titular. Dirección de Postgrado. UMCE
  6. Dra. Verónica Vargas Sanhueza. Profesora Asociada. Dpto. Kinesiología. UMCE
  7. Dra. Nofa Ibáñez Salgado. Profesora Titular. Dpto. Educación Diferencial. UMCE
  8. Dra. Liliana Belmar Lizama. Profesora Titular. Dpto. Castellano. UMCE
2. TÍTULO DEL PROTOCOLO: **TESIS: “Comparación de estrategias visuales entre sujetos adultos mayores de la tercera edad y jóvenes en una tarea de marcha con obstáculos”.**
3. FECHA DE REVISIÓN: 07-08-13
4. NOMBRE TESISTAS: Eric Palma B. y María José Véliz P.
5. CARRERA: Kinesiología
6. PROFESOR GUÍA: Juan José Mariman y Joel Álvarez Ruf
7. DOCUMENTOS QUE SE REVISARON: Proyecto de investigación, Consentimiento Informado.
8. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO: El objetivo principal de este trabajo es determinar las diferencias en la estrategia visual empleada por sujetos adultos mayores de la tercera edad y adultos jóvenes durante la marcha con obstáculos.
9. PROPIEDAD EN LA REDACCIÓN DE LOS CONSENTIMIENTOS INFORMADOS (cumplimiento de la normativa nacional vigente): La investigación presenta un formato de consentimiento informado para Registro de Movimientos Oculares, que es explícito en señalar el objetivo de la investigación, sus alcances y las formas cómo se resguardarán los derechos de los participantes, explicando además, claramente, en consiste la técnica de recogida de datos a emplear y que implica para los colaboradores del grupo experimental y de comparación, así como también cautela la confidencialidad de los datos recogidos. El consentimiento informado protegen la dignidad de los sujetos y no constituye una amenaza bajo ninguna circunstancia ni causa daño emocional ni moral a los investigados. Por tanto este Comité considera que la investigación cautela la protección de los participantes, la que está debidamente asegurada, y que el proyecto cumple con los requerimientos y los protocolos éticos para la investigación con humanos establecidos en la ley 20.120.
10. RESULTADO: APROBADO

UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE  
CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN  
COMITÉ DE ÉTICA

FIRMA INTEGRANTES COMITÉ DE ÉTICA UMCE

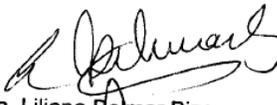
  
Dra. Elba Acevedo Jones  
Fac. de Ciencias Básicas

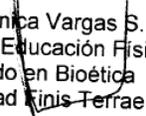
  
Dr. Vicente Castro  
Fac. de Ciencias Básicas

  
Dra. Valeria Herrera Fernández  
Dirección de Postgrado

  
Dra. Nofa Ibáñez Salgado  
Fac. Filosofía y Educación

  
Prof. Mg. Dina Escobar Guic  
Fac. Historia Geografía y  
Letras

  
Dra. Liliana Belmar Bizama  
Fac. Historia Geografía y Letras

  
Dra. Verónica Vargas S.  
Fac. Artes y Educación Física  
Diplomado en Bioética  
Universidad Kinis-Terrae

  
Dr. Marcelo González Orb  
Fac. de Artes y Educación  
Física

UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE  
CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN  
**COMITÉ DE ÉTICA**

Campus Macul | Av. José Pedro Alessandri 774, Ñuñoa, Santiago  
Teléfono: (56-2) 2412441 | Fax: (56-2) 2412699 | Correo electrónico: [direccion.investigacion@umce.cl](mailto:direccion.investigacion@umce.cl)

### 6.3. Escala Tinetti

## TINETTI BALANCE ASSESSMENT TOOL

*Tinetti ME, Williams TF, Mayewski R, Fall Risk Index for elderly patients based on number of chronic disabilities. Am J Med 1986;80:429-434*

PATIENTS NAME \_\_\_\_\_ D.o.b. \_\_\_\_\_ Ward \_\_\_\_\_

### BALANCE SECTION

Patient is seated in hard, armless chair;

		Date	
Sitting Balance	Leans or slides in chair	= 0	
	Steady, safe	= 1	
Rises from chair	Unable to without help	= 0	
	Able, uses arms to help	= 1	
	Able without use of arms	= 2	
Attempts to rise	Unable to without help	= 0	
	Able, requires > 1 attempt	= 1	
	Able to rise, 1 attempt	= 2	
Immediate standing Balance (first 5 seconds)	Unsteady (staggers, moves feet, trunk sway)	= 0	
	Steady but uses walker or other support	= 1	
	Steady without walker or other support	= 2	
Standing balance	Unsteady	= 0	
	Steady but wide stance and uses support	= 1	
	Narrow stance without support	= 2	
Nudged	Begins to fall	= 0	
	Staggers, grabs, catches self	= 1	
	Steady	= 2	
Eyes closed	Unsteady	= 0	
	Steady	= 1	
Turning 360 degrees	Discontinuous steps	= 0	
	Continuous	= 1	
	Unsteady (grabs, staggers)	= 0	
	Steady	= 1	
Sitting down	Unsafe (misjudged distance, falls into chair)	= 0	
	Uses arms or not a smooth motion	= 1	
	Safe, smooth motion	= 2	
	<b>Balance score</b>	/16	/16

## GAIT SECTION

Patient stands with therapist, walks across room (+/- aids), first at usual pace, then at rapid pace.

		Date	
Indication of gait (Immediately after told to 'go')	Any hesitancy or multiple attempts	= 0	
	No hesitancy	= 1	
Step length and height	Step to	= 0	
	Step through R	= 1	
	Step through L	= 1	
Foot clearance	Foot drop	= 0	
	L foot clears floor	= 1	
	R foot clears floor	= 1	
Step symmetry	Right and left step length not equal	= 0	
	Right and left step length appear equal	= 1	
Step continuity	Stopping or discontinuity between steps	= 0	
	Steps appear continuous	= 1	
Path	Marked deviation	= 0	
	Mild/moderate deviation or uses w. aid	= 1	
	Straight without w. aid	= 2	
Trunk	Marked sway or uses w. aid	= 0	
	No sway but flex. knees or back or uses arms for stability	= 1	
	No sway, flex., use of arms or w. aid	= 2	
Walking time	Heels apart	= 0	
	Heels almost touching while walking	= 1	
	<b>Gait score</b>		/12 /12
	<b>Balance score carried forward</b>		/16 /16
	<b>Total Score = Balance + Gait score</b>		/28 /28

### Risk Indicators:

Tinetti Tool Score	Risk of Falls
≤18	High
19-23	Moderate
≥24	Low

## 6.4. Escala Tinetti (traducida al español)

### Escala de Tinetti para equilibrio

Equilibrio (el sujeto está sentado en una silla rígida, sin apoyo para brazos)

1. Equilibrio sentado
  - 0 -se inclina o se desliza de la silla
  - 1 - está estable y seguro
2. Levantarse de la silla
  - 0 - es incapaz sin ayuda
  - 1 - se debe ayudar con los brazos
  - 2 - se levanta sin usar los brazos
3. En el intento de levantarse
  - 0 - es incapaz sin ayuda
  - 1 - es capaz pero necesita más de un intento
  - 2 - es capaz al primer intento
4. Equilibrio de pie (los primeros 5 segundos)
  - 0 - inestable (vacila, mueve los pies, marcada oscilación del tronco)
  - 1 - estable gracias al bastón u otro auxilio para sujetarse
  - 2 - estable sin soporte o auxilios
5. Equilibrio de pie prolongado
  - 0 - inestable (vacila, mueve los pies, marcada oscilación del tronco)
  - 1 - estable pero con base de apoyo amplia (maléolos mediales mayor a 10 cm) o usa auxiliar
  - 2 - estable con base de apoyo estrecha, sin soporte o auxilios
6. Romberg sensibilizado ( con ojos abiertos, pies juntos, empujar levemente con la palma de la mano sobre el esternón del sujeto en 3 oportunidades )
  - 0 - comienza a caer
  - 1 - oscila, pero se endereza solo
  - 2 - estable
7. Romberg (con ojos cerrados e igual que el anterior)
  - 0 - inestable
  - 1 - estable
8. Girar en 360°
  - 0 - con pasos disminuidos o movimiento no homogéneo
  - 1 - con pasos continuos o movimiento homogéneo
  - 0 - inestable (se sujeta, oscila)
  - 1 - estable
9. Sentarse
  - 0 - inseguro (equivoca distancia, cae sobre la silla)
  - 1 - usa los brazos o tiene movimiento discontinuo
  - 2 - seguro, movimiento continuo.

Puntaje de equilibrio: \_\_\_\_ / 16

### Escala de Tinetti para la marcha

**MARCHA** (el paciente está de pie; debe caminar a lo largo, inicialmente con su paso habitual, luego con un paso más rápido pero seguro. Puede usar auxilios).

10. Inicio de la deambulaci3n (inmediatamente despu3s de la partida)

- 0 - con una cierta inseguridad o m3s de un intento
- 1 - ninguna inseguridad

11. Longitud y altura de paso

- 0 -durante el paso el pi3 derecho no supera al izquierdo
- 1 -el pi3 derecho supera al izquierdo
- 0 - el pi3 derecho no se levanta completamente del suelo
- 1 - el pie derecho se levanta completamente del suelo
- 0 -durante el paso el pi3 izquierdo no supera al derecho
- 1 -el pi3 izquierdo supera al derecho
- 0 - el pi3 izquierdo no se levanta completamente del suelo
- 1 - el pie izquierdo se levanta completamente del suelo

12. Simetría del paso

- 0 - el paso derecho no parece igual al izquierdo
- 1 - el paso derecho e izquierdo parecen iguales

13. Continuidad del paso

- 0 - interrumpido o discontinuo (detenciones o discordancia entre los pasos)
- 1 - continuo

14. Trayectoria

- 0 - marcada desviaci3n
- 1 - leve o moderada desviaci3n o necesita auxilios
- 2 - ausencia de desviaci3n y de uso de auxilios

15. Tronco

- 0 - marcada oscilaci3n
- 1 - ninguna oscilaci3n, pero flexi3n rodillas, espalda y abre brazos durante la marcha
- 2 - Ninguna oscilaci3n ni flexi3n ni uso de brazos o auxilios

16. Movimiento en la deambulaci3n

- 0 - los talones est3n separados
- 1 - los talones casi se tocan durante la marcha

Puntaje marcha: \_\_\_\_ / 12

SUMA DE PUNTAJES: EQUILIBRIO + MARCHA: \_\_\_\_ / 28

Notas: \_\_\_\_\_