



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

### TREBALL FINAL DE GRAU

---

# VALORACIÓN DE LA FRECUENCIA Y REGULARIDAD DEL PARPADEO EN USUARIOS DE TABLETA, CON Y SIN LA INCORPORACIÓN DE UN FILTRO DE ABSORBANCIA SELECTIVA

**LIDIA TAPIA LOPEZ**

GENÍS CARDONA Y ELISABET PÉREZ  
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

29 de juny de 2015



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

El Sr. Genís Cardona Torradeflot i la Sra. Elisabet Pérez Cabré,  
 com a directors del treball,

CERTIFIQUEN

Que la Sra. Lidia Tapia López ha realitzat sota la seva supervisió  
 el treball **“Valoració de la frecuencia y regularidad del  
 parpadeo en usuarios de tableta, con y sin la incorporación de  
 un filtro de absorbanza selectiva”** que es recull en aquesta  
 memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signem aquest certificat.

Sr Genís Cardona  
 Director del treball

Sra Elisabet Pérez  
 Directora del treball

Terrassa, 3 de Juny de 2015



## AGRADECIMIENTOS

He decidido escribir estas líneas para expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a mis tutores Genís Cardona y Elisabet Pérez por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa. Todo ello ha resultado fundamental para la realización de este proyecto. También, me gustaría agradecer a mis compañeros, Marga Rodríguez y Marc Argilés, por las horas de esfuerzo compartidas durante el proyecto.

Agradezco la ayuda de mis compañeros de carrera, profesores y, a la universidad en general, por todos los conocimientos otorgados y por darme el tiempo personal para formarme profesionalmente.

De igual forma, agradecer también a mis familiares y en especial a mi hermana Miriam, por brindarme su apoyo y ayuda durante esta etapa y, por ser ellos los que han hecho esto posible.

A mi pareja, Guillermo, por impulsarme y confiar ciegamente en mi capacidad y en mi perseverancia hasta lograr mis metas. Por su apoyo incondicional antes, durante y después de realizar este proyecto, y por hacerme feliz cada día.

También, agradecer el apoyo a mi tía; Gracias Tata, todavía recuerdo el día en el que decidí empezar este camino. Gracias por el apoyo incondicional durante todos estos años.

Decir que el recorrido hasta aquí ha tenido sus momentos buenos y malos, pero aquí estoy.

A todos ellos, este logro también es suyo.

Gracias. Sin vosotros, estas palabras no hubieran sido posibles.

Lidia Tapia López.



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

# VALORACIÓN DE LA FRECUENCIA Y LA REGULARIDAD DEL PARPADEO EN USUARIOS DE TABLETA, CON Y SIN LA INCORPORACIÓN DE UN FILTRO DE ABSORBANCIA SELECTIVA

### RESUMEN

La creciente dependencia de nuestra sociedad a los dispositivos que incorporan pantallas de visualización de datos (TVs, ordenadores, Smartphones, Tabletas...), y la actual tecnología de iluminación LED de las mismas, ha provocado el interés por el estudio de los posibles efectos de la radiación de estas pantallas al sistema visual humano, así como alteraciones en el parpadeo y en los ritmos circadianos. Debido a algunas afectaciones visuales, se comercializan filtros de absorción selectiva que filtran la luz azul de los dispositivos, y que son adaptables a pantallas de ordenador, tabletas y pantallas de los Smartphones. En este proyecto, se investiga su influencia en diversos parámetros que definen el parpadeo.

**METODOLOGIA:** Se realizaron varios exámenes de inclusión/exclusión, entre los cuales se presentó un test de evaluación de ojo seco denominado *OSDI*. Fueron evaluados 29 sujetos de edades comprendidas entre 18 y 29 años, analizándose tres parámetros del parpadeo (regularidad, frecuencia y amplitud del parpadeo, completo o incompleto), en 3 condiciones distintas, presentadas aleatoriamente (posición primaria de mirada o *Baseline*, lectura en Tableta y Tableta con filtro). En cada una, se gravó el rostro del paciente para el análisis posterior del parpadeo. El análisis posterior (1 minuto del registro) permitió medir los parámetros descritos. Se desarrolló un aplicativo para que la evaluación de los parámetros fuera más repetitiva.

**RESULTADOS:** El uso de Tableta, con o sin filtro, resulta en una disminución de la frecuencia de parpadeo, respecto de la condición *baseline*. No se encontraron diferencias estadísticas entre Tableta con filtro y sin filtro en los parámetros del parpadeo. Se hallaron diferencias entre ambos sexos, tanto en la frecuencia de parpadeo en *baseline* como en los valores del test *OSDI*.

**CONCLUSIONES:** Los resultados obtenidos han revelado diferencias entre la frecuencia de parpadeo en posición primaria de mirada y durante la tarea de lectura con Tableta, similar a las variaciones producidas durante la lectura de textos en papel. No obstante, el estudio no ha manifestado diferencias significativas entre la utilización de Tabletillas con filtro de absorción selectiva y la no utilización del mismo, por lo que hace referencia a la descripción del parpadeo. Son necesarios futuros estudios con un tiempo de lectura más prolongado para examinar su efecto real sobre la fatiga visual, y por extensión, en el patrón del parpadeo.



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

# VALORACIÓ DE LA FREQUÈNCIA, AMPLITUD I REGULARITAT DEL PARPELLEIG EN USUARIS DE TABLETES, AMB I SENSE LA INCORPORACIÓ D'UN FILTRE D'ABSORBÀNCIA SELECTIVA

### RESUM

La creixent dependència de la nostra societat als dispositius amb pantalles de visualització de dades (TVs, ordinadors, smartphones, tablettes...), i l'actual tecnologia d'il·luminació LED de les mateixes, ha provocat l'interès per l'estudi dels possibles efectes de la radiació d'aquestes pantalles al sistema visual humà, així com alteracions en el parpelleig i en els ritmes circadians. Degut a algunes afectacions visuals, es comercialitzen filtres d'absorció selectiva que filtren la llum blava dels dispositius, i que són adaptables a pantalles d'ordinador, tablettes i pantalles dels smartphones. En aquest projecte, s'investiga la seva influència en diversos paràmetres que defineixen el parpelleig.

**METODOLOGIA:** Es van realitzar diversos exàmens d'inclusió/exclusió, entre els quals es va presentar un test d'avaluació de l'ull sec denominat *OSDI*. Van ser avaluats 29 subjectes d'edats compreses entre els 18 i els 29 anys, analitzant-ne tres paràmetres del parpelleig (regularitat, freqüència i amplitud de parpelleig, complet o incomplet), en 3 condicions diferents, presentades aleatòriament (posició primària de mirada o *Baseline*, lectura en Tauleta i Tauleta amb filtre). En cadascuna, es va gravar el rostre del pacient per a l'anàlisi posterior del parpelleig. L'anàlisi posterior d'un minut de l'enregistrament va permetre mesurar els paràmetres descrits. Es va desenvolupar un aplicatiu per a què l'avaluació dels paràmetres fos més repetitiva.

**RESULTATS:** La utilització d'una Tauleta, amb filtre o sense ell, produeix una disminució de la freqüència de parpelleig, respecte a la condició *baseline*. No s'han trobat diferències estadístiques entre Tauleta amb filtre i sense filtre en els paràmetres avaluats del parpelleig. S'han trobat diferències entre ambdós sexes, tant pel que fa la freqüència del parpelleig en *baseline* com en els valors del test *OSDI*.

**CONCLUSIONS:** Els resultats obtinguts han revelat diferències entre la freqüència de parpelleig en posició primària de mirada i durant la tasca de lectura amb Tauleta, similar a les variacions produïdes durant la lectura de textos en paper. No obstant, l'estudi no ha posat de manifest diferències significatives entre la utilització de tauletes amb un filtre d'absorbància selectiva i la no utilització del mateix, pel que fa referència a la descripció del parpelleig. Són necessaris futurs estudis amb un temps de lectura més prolongat, per examinar el seu efecte real sobre la fatiga visual, i per extensió en el patró de parpelleig.



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

# ASSESSMENT OF THE FREQUENCY AND REGULARITY OF BLINK IN USERS OF TABLET, WITH AND WITHOUT THE INCORPORATION OF A FILTER OF SELECTIVE ABSORBANCE

### PURPOSE

The growing dependence of our society to the devices that incorporate screens of data visualization (TVs, computers, Smartphones, tablets etc. ), and the current illumination LED technology of the same, has sparked interest in the study of the possible effects of the radiation of these screens to the human visual system, as well as alterations in the torque-blinking and circadian rhythms. Due to some visual effects, are marketed selective absorption filters that filter the light blue of the devices, and that are adaptable to computer screens, tablet, and screens of the smartphones. In this project, we investigate their influence on various parameters that define the blink.

**METHODOLOGY:** Participants underwent several tests in accordance to the inclusion / exclusion criteria previously defined, including a dry eye symptoms questionnaire (OSDI). Twenty-nine subjects aged between 18 and 29 years were included in the study. For all subjects, three blinking parameters (blink frequency, regularity and amplitude, complete or incomplete) were examined in three different experimental conditions, presented in random order (PPM or *baseline*, reading with a Tablet without filter and a Tablet with filter). Video recordings were obtained in each condition for posterior analysis. It is development that an application for the evaluation of parameters outside more repetitive.

**RESULTS:** Subjects using a Tablet, either with or without filter, showed a reduction in blinking frequency, when compared with *baseline* conditions. No statistically significant differences were found between Tablet with and without filter in any of the blinking parameters under study. Gender differences were disclosed in blinking frequency in *baseline* conditions and in OSDI values.

**CONCLUSIONS:** The results have revealed differences between the flashing frequency in primary position of gaze and during the task of reading with Tablet, similar to the variations produced during the reading of texts on paper. However, the study has not shown significant differences between the use of tablets with absorbance selective filter and non-use of the same, by what makes reference to the description of the blink. Future studies are needed with a reading time longer to examine its effect on the actual visual fatigue, and by extension, in the pattern of the blink.

# ASSESSMENT OF THE FREQUENCY AND REGULARITY OF BLINK IN USERS OF TABLET, WITH AND WITHOUT THE INCORPORATION OF A FILTER OF SELECTIVE ABSORBANCE

By: **Lidia Tapia López**

Directed By: **Genís Cardona** and  
**Elisabet Pérez**

## PURPOSE

Currently, thanks to the evolution in technology, it has increased very considerably the use of devices that include PVD (data display screens) and in particular today, is spreading the use of new screens with LED lighting.

This type of screens has a peak emission of radiation at wavelengths short of the visible spectrum, around 470 nm (Chang, 2014). Unlike reading on paper, reading with these devices has increased the visual problems associated, described in the so-called computer Visual Syndrome (SVI). The term SVI includes, among others, visual fatigue, headache, blurred vision, foreign body sensation, visual discomfort or hypersensitivity to light (Portello, 2010; Benedetto, 2013). In addition, exposure to these screens seem to change some parameters of the blink, as is its frequency or amplitude (increase in the

number of blinks incomplete), leading to increased ocular dryness.

Also, prolonged exposure to this light visible from a higher frequency and energy, you can contribute to the early onset of diseases such as cataracts or age-related macular degeneration (ARMD) (Garcia et al, 2013).

However, the blue light is required for some vital functions of the human being, giving anxiety disorder or stress, among others, in cases of deficiency of this. Recently, it has established a cause-effect relationship between the use of screens LED's and the circadian rhythms, specifically the state of sleep-wakefulness (Figueiro, 2015).

According to these studies, the sleep cycle is governed by a part of our brain called the hypothalamus that secretes a substance called melatonin (sleep hormone) which, when activated, it gives rise to the feeling of drowsiness. The secretion of melatonin, in turn, is controlled by the action of the photoreceptors in the retina. Exposed to light (natural or artificial), disable the secretion of the substance, causing inhibition of the dream. Many previous work related, for its part, the state of wakefulness with the frequency and amplitude of the blinking (Schlote, 2004; Chu, 2014). Due to the continued use of the screens on the part of users (approximately 14 hours a day - Rideout, 2010) and to the aforementioned visual effects and systemic associated with this use, have begun to market filters to reduce this radiation and, consequently, reduce its effects on the visual fatigue and possible alterations in the state of

wakefulness. These filters can be adapted in tablets, computer screens and in smartphones.

The objective of this study is to determine the influence of blue light emitted by these devices in the parameters of the blink when it incorporates a selective absorbance filter on the screen. For this reason, it is necessary to measure the frequency, regularity and the amplitude of the blink during the reading of texts displayed at a tablet (with and without the addition of a selective absorbance filter). We will compare these results with the same parameters of the blink in a rest position, called Baseline of primary position of gaze far away and in silence.

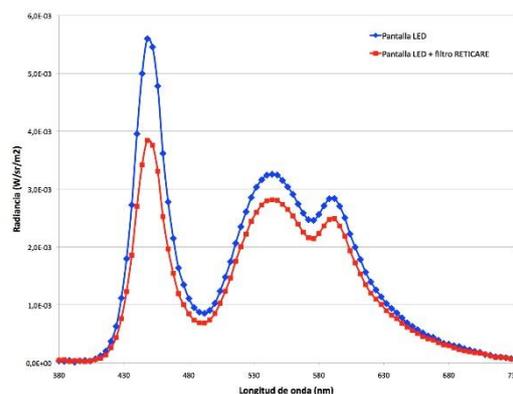
## PATIENTS AND METHODOLOGY

The present study is included within the Group of transversal and observational studies, where there is a group control as such, but that the subject acts as a control group.

29 subjects, aged between 18 and 29 years, with an average of 22 years were evaluated. 65.5% represents female while than the 34.5% represents the male. Exclusion criteria include deficiencies in binocular vision affecting fusion (unbalanced forias, accommodative problems, or ambliopias), as well as pathologies which influence parameters of blink or tear film stability (e.g.,: dry eye, evaluated with the questionnaire of symptoms, OSDI).

Blink (regularity, frequency and amplitude) parameters were examined under three experimental conditions (Baseline, Tablet and Tablet) with filter of selective absorbance presented in a random order (thus avoiding the intervention of eyestrain). During the reading conditions participants read a text on the Tablet for six minutes.

The tablet used for the realization of the measures was the model Energy i10 (IPS screen 9.7 " HD 4:3 (1024 x 768 pixels), using the same type of font, Arial, with the same line spacing, 1.15, same size, 9.



**Figure 1.** Comparison of the radiance of the LED display with and without the filter Reticare.

**Figure 1** shows the spectral radiance of the tablet used with and without filter. In the graph you can see clearly peak radiation in the blue area of the spectrum, which is the most attenuated by the filter.

For its part, to examine the blink in each of three conditions evaluated captured videos of the face of the subject for later analysis. The cameras used for this purpose were: the LEGRIA HF camcorder Canon M307 3.3 Mpixels, 1920x1080 with 15xOptical Zoom and

the Webcam Microsoft Lifecam HD-3000.

The parameters of the blinking (regularity, frequency and amplitude) were examined in three experimental conditions (Baseline, Tablet and Tablet with absorbance filter selective) presented in a random order (thus avoiding the intervention of the visual fatigue). In each of the three conditions evaluated captured videos of the face of the subject for later analysis. During the conditions of reading the participants read a text on the tablet for six minutes.

The three experimental measured parameters (frequency, amplitude and regularity) were obtained from the manual analysis of a minute (minute 3 of 6) of the recordings made using the application created with this purpose, which is available at the URL <http://www.blinkcounter.oo.upc.edu/>.

This application allowed to register each flash occurred during one minute, differentiating between complete and incomplete blinking. At the end of the procedure was obtained a time distribution of the blinking that allowed calculating its frequency.

The determination of the type of flash was subjectively (according to the complete occlusion of the sclera or not). Also evaluated the words read in each of the conditions of reading, with the purpose of determining if the incorporation of the filter could have an influence on the rate of reading. All the tests were conducted in the same room and with the same devices in order to

compare the results obtained in similar conditions. The lighting of the tablet in reading position in that room was approximately 750 lux. And the tablet was around a luminance of 120 cd/m<sup>2</sup>.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

<i>Evaluated Parameters</i>	<i>Blink Frequency (p/min)</i>	<i>Incomplete Blinking (%)</i>	<i>Blink Regularity (indice 1-4)</i>
	<i>Median (Min - Max)</i>	<i>Median (Min - Max)</i>	<i>Median (Min - Max)</i>
<i>Baseline</i>	14 (1-38)	9.1 (0-54.2)	2.00 (1-4)
<i>Tablet</i>	6.00 (0-42)	16.7 (0-100)	2.00 (1-4)
<i>Tablet + Filter</i>	6.00 (0-36)	9.1 (0-50)	2.00 (1-4)

**Tabla 1.** Parameters of the blink depending on the experimental condition, showing the median (min. - Max.).

**Table 1** shows the results of frequency, amplitude, and regularity of the blink, obtained from the display of a minute of recording during the reading of a text. In reference to the frequency of flashing, it is noted that the conditions of reading, lead to a decrease in the frequency of blinking (in tablet form, with or without filter), in relation to the baseline condition. This decrease may be associated with the increased cognitive load of the work done that, according to previous studies, has been linked with a central inhibition of spontaneous blinking, related to attentional aspects. However, no statistically significant differences were found between the condition tablet with and without a filter ( $p = 0,371$ ). If we see the results of incomplete flashes, we see that there is a wide variation in their percentage in response to the minimum and maximum values obtained, while the median

indicates to us that half of the participants have a percentage below the 10-15% of flashes incomplete in all the tasks we evaluated. No significant differences were found in this parameter.

Finally, in regards to the regularity of the blink, the values are very similar in all cases and only statistical differences were found between baseline and Tablet Filter ( $p < 0.01$ ).

From these results, therefore, it is not possible to gauge changes in relevant blink due to the incorporation of the selective absorbance filter.

Reading words	Average	Standard deviation
<i>Tablet</i>	1404,00	323,128
<i>Tablet + Filter</i>	1422,00	326,128

**Tabla 2.** Comparison of the read words number with and without filter.

**Table 2** shows the average values and standard deviation, corresponding to the words, read in each activity of reading performed by the subject, without which it will find differences statistically means-initiatives in the number of words read between the two conditions evaluated for use of the tablet with and without Reticare filter. Although he was not among the initial objectives of this work, we have also examined the responses to the questionnaire OSDI on dry eye of the participants in the study. As far as the values of OSDI, there is a statistically significant difference between the values obtained in men and women, with average results 5.80 and

11.89, respectively, in the value of the test. Although both values do not exceed the cut-off point of 15, as defined in this questionnaire of dry eye as a threshold of dry eye, if that tells us that, in our sample, women showed more symptoms of dry eye than men, differences potentially associated with hormonal aspects. It is amply documented in the literature that, in patients with higher eye dryness, the flashing frequency increases, the impact the blink reflex that tends to counteract the dryness. In our case, indeed, are statistical differences between the flashing frequency in men and women, although these differences are located only in baseline conditions, and not during the reading. This tells us that the inhibition of the blink reflex mentioned above, the fruit of the cognitive load greater than the task of reading, modifies the flashing frequency in men and women in a way that gets a similar frequency during the reading, regardless of the sex of the individual. These results are shown in **Table 3**.

Experimental Condition	Blink Frequency Man (p/min)	Blink Frequency Women (p/min)
<i>Baseline</i>	8.50 (3-26)	20 (1-38)

**Tabla 3.** Blink frequency in Man and Women (average (min. – max.)).

The study in this project has compared the frequency, amplitude and the regularity of the blink in the process of reading a text through the use of a tablet, with and without the addition of a selective absorbance filter of wavelength blue. The results have been compared with the same parameters of

flashing obtained for the same subjects when they watched an image in primary position of gaze. Results revealed the existence of a single statistically significant difference between the three conditions evaluated: in flashing frequency in comparison of the reading in tablet with the baseline condition.

The parameters of regularity and amplitude, in contrast, do not show significant variations. In any case there are some differences in parameters that describe the blink when comparing the reading in a tablet without filter and reading with the filter Reticare. To obtain the results has been chosen the minute 3 of the total of 6 minutes of recording. Possibly the conclusions drawn for this minute are not sensitive enough to determine the effect of the filters in the visual fatigue of the participants. In addition, there has been a totally manual procedure of viewing a minute of the videos recorded in each experience to determine the parameters of the blink. During the completion of the work has already been appreciated certain limitations in the subjective determination of the regularity of the flash, by what is working in the achievement of an application that would allow the obtaining of this parameter with a clearer appreciation. Anyway, the results reveal the need to obtain an objective method of evaluation of both the frequency, as the amplitude and regularity of the blink. In this way, it will be possible to assess periods of time to read longer, where the visual fatigue may reveal more obvious. A more extensive study, could indicate more clearly if the filter function of selective absorbance

can have an effect on the visual fatigue, and by extension also in the characteristics of the blink.

Also it should be noted that, this being a study on a representative sample (n= 29) of individuals of an age range between 18 and 29 years, our conclusion is limited to these ages and does not reflect the sample of the population as a whole.

## REFERENCES

Benedetto S, Draï-Zerbib V, Pedrotti M, Tissier G, Baccino T. E-Readers and Visual Fatigue. *Plos One* 2013, 8(12):1-7.

Chang, A-M, Aeschbach, D., Duffy, J.F., Czeisler, C.A.; Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness, 2014.

Chu C, Rosenfield M, Portello JK. (2014) Blink Patterns: Reading from a Computer Scre versus Hard Copy. *Optom Vis Sci* 91: 297 -302.

Figueiro M, and Overington, D. 2015 Self luminous devices and melatonin suppression in adolescents Polytechnic Institute, USA.

García M.A, Salinas E (2013) Degeneración macular asociada a la edad (DMAE). Guía Clínica Optométrica a partir de estudios basados en la evidencia. *Gaceta de Optometría y Óptica Oftálmica* 487: 24-30

Portello JK, Rosenfield M, Chu CA. Blink rate, incomplete blinks and computer vision syndrome. *Optometry and Vision Science* 2010, 90(5):482-487.

Rideout VJ, Foehr UG, Roberts DF (2010) Generation M2. Media in the Lives of 8- to 18-Year Olds. A Kaiser Family Foundation Study. The Henry J.Kaiser Family Foundation: Menlo Park, CA.

Schlote T, Kadner G, Freudenthaler N. (2004). Marked reduction and distinct patterns of eye blinking in patients with moderately dry eyes during video display terminal use. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 242(2):306-312.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1-3
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b> .....	4-28
<b>2.1. MEDIOS OCULARES Y RADIACIÓN UV – AZUL</b> .....	4-15
<b>2.1.1. Energía radiante. Luz UV y luz azul</b> .....	4-6
<b>2.1.2. Absorción de la radiación en los medios oculares</b> .....	6-8
<b>2.1.3. La Retina</b> .....	8-14
<b>2.1.3.1. Estructura retiniana microscópica</b> .....	11-12
<b>2.1.3.2. Estructura retiniana macroscópica</b> .....	12-13
<b>2.1.3.3. Degeneración Macular Asociada a la Edad (DMAE)</b> .....	13-14
<b>2.1.4. El Cristalino</b> .....	14-15
<b>2.1.4.1. Cataratas</b> .....	15
<b>2.2. CICLO CIRCADIANO</b> .....	15-18
<b>2.2.1. Definición</b> .....	15-16
<b>2.2.2. Luz azul – Influencia en el ciclo circadiano</b> .....	16-18
<b>2.3. EL PARPADEO</b> .....	18-23
<b>2.3.1. Funciones del Parpadeo</b> .....	19
<b>2.3.2. Mecanismo del Parpadeo</b> .....	20
<b>2.3.3. Frecuencia de Parpadeo</b> .....	21-22
<b>2.3.4. Tipos de Parpadeo</b> .....	22-23
<b>2.3.5. Regularidad del Parpadeo y Variaciones fisiológicas</b> .....	23
<b>2.4. PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE DATOS (PVD)</b> .....	24-26
<b>2.4.1. Importancia del parpadeo durante el uso de PVD</b> .....	26
<b>2.5. EL PARPADEO Y EL ESTADO DE ALERTA</b> .....	27
<b>2.5.1. El parpadeo en la conducción. Fatiga visual</b> .....	27

<b>3.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>28</b>
<b>4.</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>29-35</b>
<b>4.1.</b>	Sujetos y Condiciones Éticas	29
<b>4.2.</b>	Criterios de Exclusión	29
<b>4.3.</b>	Materiales y Procedimientos	29-35
<b>4.4.</b>	Análisis Estadístico	35
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>36-44</b>
<b>5.1.</b>	Caracterización del filtro Reticare®	36-37
<b>5.2.</b>	Análisis Demográfico	38
<b>5.3.</b>	Parpadeo en función de la condición experimental	39-42
<b>5.4.</b>	Recuento de palabras leídas	43-44
<b>5.5.</b>	Estudio de la influencia de la edad, género y OSDI sobre el parpadeo	44
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>45-46</b>
<b>7.</b>	<b>LIMITACIONES EN EL ESTUDIO Y TRABAJOS FUTUROS</b>	<b>46</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS</b>	<b>47-52</b>
 <b>ANEXOS</b>		
<b>Anexo 1.</b>	Captación de Participantes	50
<b>Anexo 2.</b>	Consentimiento informado	51
<b>Anexo 3.</b>	Procedimiento para los Exámenes Visuales	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1.** Espectro electromagnético (EEM).
- Figura 2.2.** División entre los distintos tipos de radiación UV entre 150 nm y 380 nm.
- Figura 2.3.** Espectro de transmisión de la córnea.
- Figura 2.4.** Espectro de absorción de la córnea (variación con la edad).
- Figura 2.5.** Espectro de absorción del humor acuoso.
- Figura 2.6.** Espectro de absorción del cristalino.
- Figura 2.7.** Espectro de absorción del humor vítreo.
- Figura 2.8.** Anatomía ocular
- Figura 2.9.** Estructura del ojo humano.
- Figura 2.10.** Estructura del ojo humano.
- Figura 2.11.** Retina humana
- Figura 2.12.** Partes de la retina
- Figura 2.13.** Estructura del cristalino.
- Figura 2.14.** El Reloj interno del cuerpo.
- Figura 2.15.** Melatonina y Melanopsina (ciclo).
- Figura 2.16.** Funciones del parpadeo, diferenciando entre su vertiente fisiológica y cognitiva.
- Figura 2.17.** Movimiento de los párpados durante el parpadeo
- Figura 2.18.** Frecuencia y regularidad del parpadeo durante la lectura (A), en posición primaria de mirada y en reposo (B) y durante una conversación (C)
- Figura 2.19.** Espectro de emisión, conjuntamente con el espectro de transmisión de los vidrios tintados naranjas.
- Figura 2.20.** Los tipos de alerta que garantizan una conducción segura.
- Figura 4.1.** Instrumentos optométricos.
- Figura 4.2.** Test OSDI presentado en formato para Tableta.
- Figura 4.3.** Lectura en la condición nº 2.
- Figura 4.4.** Imagen utilizada para la medida del *Baseline*.
- Figura 4.5.** Captura de pantalla del programa Blinkcounter (<http://www.blinkcounter.oo.upc.edu/>).
- Figura 5.1.** Montaje experimental del Espectroradiómetro.
- Figura 5.2.** Espectro de emisión en el rango del visible medido a través de la Tableta utilizada en el estudio.
- Figura 5.3.** Transmitancia del Filtro Reticare.
- Figura 5.4.** Distribución por edad de la muestra de estudio.

**Figura 5.5.** Distribución por sexo de la muestra de estudio.

**Figura 5.6.** Regularidad de parpadeo en función de la condición experimental.

**Figura 5.7.** Frecuencia de parpadeo en función de la condición experimental (los puntos negros corresponden a *outliers*).

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 2.1.** Bandas del espectro de luz visible.

**Tabla 4.1.** Condiciones de fijación y lectura establecidas en el estudio.

**Tabla 5.1.** Parámetros del parpadeo en función de la condición experimental.

**Tabla 5.2.** Análisis estadístico (test de Friedman) de los parámetros en las tres condiciones experimentales.

**Tabla 5.3.** Comparación de la regularidad a pares con el test Wilcoxon (se muestra el valor de  $z$  y su  $\rho$ ).

**Tabla 5.4.** Comparación de la frecuencia a pares con el test Wilcoxon (se muestra el valor de  $z$  y su  $\rho$ ).

**Tabla 5.5.** Comparación de las palabras leídas con Filtro y sin él, con el valor de  $z$  y  $\rho$ .

**Tabla 5.6.** Frecuencia de parpadeo en hombres y mujeres (se muestra la mediana (mín.-máx.)).

## ÍNDICE DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

AA	Amplitud de Acomodación
AREDS	Age – Related Eye Disease Study
AV	Agudeza Visual
BN	Base Nasal
BT	Base Temporal
CTE	Comisión Internacional de Iluminación
DGT	Dirección General de Tráfico
DMAE	Degeneración Macular Asociada a la Edad
EEM	Espectro Electromagnético
EPR	Epitelio Pigmentario de la Retina
FOOT	Facultad de Óptica i Optometría de Terrassa
FP	Frecuencia de Parpadeo
FR	Fotoreceptor
GPS	Global Positioning Systems
ipRGC	Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells
IR	Infrarojo
LED	Light – Emitting Diode
LIO	Lente Intraocular
LO	Ley Orgánica
OSDI	Ocular Surface Disease Index
PNAS	Proceedings of the National Academy of Sciences
PPC	Punto Próximo de Convergencia
PPM	Posición Primaria de Mirada
PVD	Pantalla de Visualización de Datos
REM	Rapid Eye Movement
SCE	Sensación de Cuerpo Extraño
SVI	Síndrome Visual Informático
UPC	Universidad Politècnica de Catalunya
UV	Ultravioleta
VIS	Espectro Visible

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, y cada vez con más frecuencia en nuestra sociedad, convivimos en un mundo globalizado dónde, gracias al conjunto de ventajas que los medios de comunicación tecnológicos aportan a la comunidad, la necesidad de utilización de éstos va en aumento. Efectivamente, debido al avance desmesurado de la tecnología en los últimos años, su uso en la vida cotidiana ha crecido notablemente, ofreciéndonos comodidades y todo tipo de facilidades en la obtención de conocimiento. Todo ello, con el objetivo de brindarnos una mejor calidad de vida.

La llegada de las nuevas tecnologías ha conllevado una mayor exposición a los dispositivos de luz artificial, ya sea por ocio o bien por trabajo, como son las pantallas LED actuales (teléfonos móviles, tabletas y ordenadores portátiles, monitores de pantalla plana, GPS y televisores, entre otros). Estos dispositivos emiten luz en una franja del espectro de longitud de onda corta (comúnmente denominada luz azul) que, debido a un uso prolongado en el tiempo, podrían producirnos efectos nocivos normalmente tardíos en diversas estructuras oculares como la retina o el cristalino.

Estas largas exposiciones, añadidas a las prolongadas tareas de concentración requeridas durante la jornada laboral y el ocio, conducen a un síndrome que se conoce como ***El Síndrome Visual Informático (SVI)***. El SVI puede ser provocado por diversos factores entre los que podemos destacar: las condiciones ambientales del lugar de trabajo o estudio, la iluminación utilizada (natural o artificial) o la postura corporal durante la realización de las tareas (ergonomía visual). El SVI se caracteriza por diversos síntomas, como son la fatiga ocular, sequedad ocular, visión borrosa, sensibilidad a la luz, cefalea y dolor ocular, entre otros. De todos ellos, la sequedad ocular es el síntoma más comúnmente mencionado por los usuarios de pantallas, encontrándose estrechamente relacionado con el parpadeo. Actualmente, la cifra de casos de SVI se eleva a un 70% (Estudio realizado por el Col·legi Oficial d'Òptics i Optometristes de Catalunya en el que fue evaluada una muestra de 1400 individuos de edades comprendidas entre los 14 y los 70 años).

Los párpados son las estructuras oculares que se encargan de humectar el globo ocular y protegerlo de cuerpos extraños. El parpadeo puede verse afectado por diversas condiciones, como pueden ser la fatiga ocular o los estímulos externos, provocando una distorsión en la velocidad o tipo de movimiento de los párpados. Todo ello, dando lugar a la sintomatología asociada al síndrome anteriormente citado.

El ser humano y algunas de sus estructuras, como puede ser el sistema visual, no han sido diseñadas biológicamente para soportar estas condiciones de prolongada utilización de pantallas emisoras de luz artificial (que en el caso de los LEDs, tienen un pico de emisión en longitudes de onda corta correspondiente a la franja del espectro visible de luz azul) y, por tanto, nuestras células retinianas, así como otras estructuras oculares (fibras del cristalino), pueden verse afectadas negativamente. No obstante, la luz azul (igual al resto de longitudes de onda del espectro visible) es necesaria para la visión del ser humano y para sus funciones vitales y, sin ella, pueden darse trastornos como afectaciones en la visión del color, estrés, ansiedad o falta de atención. En estos trastornos, tienen un papel muy importante los distintos fotorreceptores situados en la retina, algunos de los cuales son específicos para esta longitud de onda, que citaremos posteriormente en el apartado de la estructura retiniana.

Por otra parte, dado el aumento de la esperanza de vida en los países desarrollados en los últimos años, se ha hecho indispensable una dedicación científica a la protección y prevención visual. En el caso de las cataratas, se estudia la implantación de *LIO's* que contienen un filtro amarillo, evitando parcialmente, la penetración de la radiación azul en retina.

Actualmente, el tratamiento de la degeneración macular asociada a la edad (DMAE) es paliativo, y dependerá de la tipología de degeneración sufrida por el individuo. Existen tratamientos que incluyen medicación o terapia fotodinámica. Otros, además, incluyen la ingesta de nutrientes que ralentizan la progresión de la patología (Estudio AREDS; García, M.A. et al. 2005).

Algunos estudios (Sanchez, C.; 2010) han evaluado el uso de filtros de luz para prevenir el daño ocasionado por la luz azul en las estructuras oculares, en animales. Estos filtros impiden que una porción de la luz azul emitida por los dispositivos electrónicos actuales incida sobre éstas.

No obstante, es importante analizar este tipo de producto y ver su eficacia e influencia sobre la fatiga visual. En este sentido, la luz azul también se ha relacionado con el ciclo circadiano o estado de alerta, apareciendo algunos estudios que afirman que el uso de dispositivos con luz azul puede alterar este ciclo (Corbella, J.; 2014). El concepto de ciclo o ritmo circadiano se utiliza en el ámbito de la biología para definir las oscilaciones de determinadas variables biológicas en un intervalo de tiempo regular. Es decir, define la ritmicidad de las funciones biológicas. Al ser el parpadeo un indicador de fatiga visual, su evaluación puede ser útil para inferir la influencia de las pantallas con luz azul sobre la fatiga y estado de atención.

El objetivo principal de este estudio, por tanto, es investigar la influencia de los **Filtros de Absorbancia Selectiva**, que son comercializados para ser incorporados sobre las pantallas de visualización, sobre diversos parámetros que definen el parpadeo. En este estudio se valorará la frecuencia, la regularidad del parpadeo y si estos se realizan de manera completa o incompleta. Para ello, se realizarán unas medidas en tres condiciones visuales distintas: lectura de un texto con soporte de tableta, con y sin la incorporación delante de la misma de un filtro de absorbancia selectiva de luz azul y, como tercera condición y a su vez base de las anteriores, la medida en una posición de mirada determinada (posición primaria de mirada - PPM) y en silencio, llamado *Baseline*. La presentación de estas condiciones será aleatoria para evitar la posible influencia de la fatiga, comparando los resultados entre ellas y observando si el filtro influye en los parámetros evaluados. Las mediciones se realizarán en una muestra suficiente de individuos jóvenes de ambos sexos, todos ellos de edades comprendidas entre los 18 y los 30 años.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. MEDIOS OCULARES Y RADIACIÓN UV – AZUL

#### 2.1.1. Energía radiante. Luz UV y luz azul

La energía radiante es una forma de energía que se propaga en el vacío y está constituida por ondas electromagnéticas de frecuencias oscilantes entre  $10^8$  y  $10^{24} \text{ s}^{-1}$ .

Al conjunto de las diferentes radiaciones que constituyen la energía radiante se le denomina espectro electromagnético. Estas radiaciones se definen por su longitud de onda y frecuencia. El Espectro electromagnético (EEM) incluye radiaciones desde menor longitud de onda, como son los rayos gamma y los rayos X, hasta los de mayor longitud de onda como son las ondas de radio, pasando por la radiación UV, la luz visible y los rayos IR (**Figura 2.1.**).

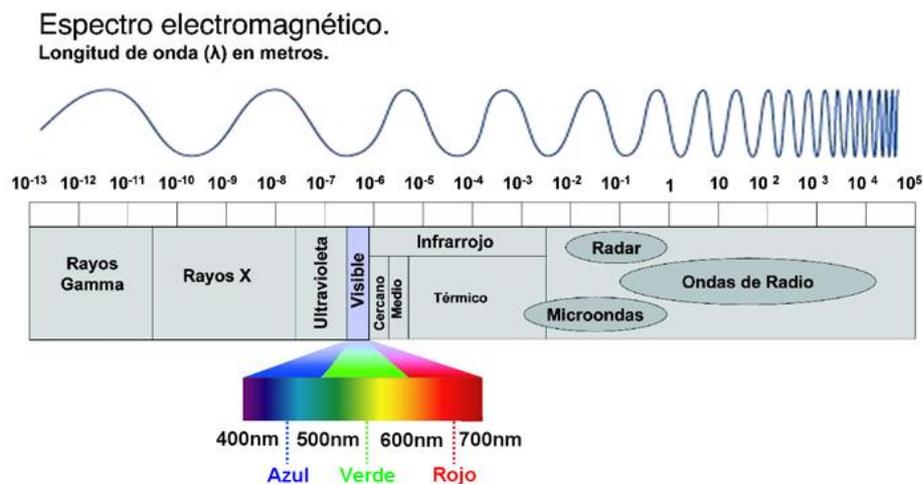
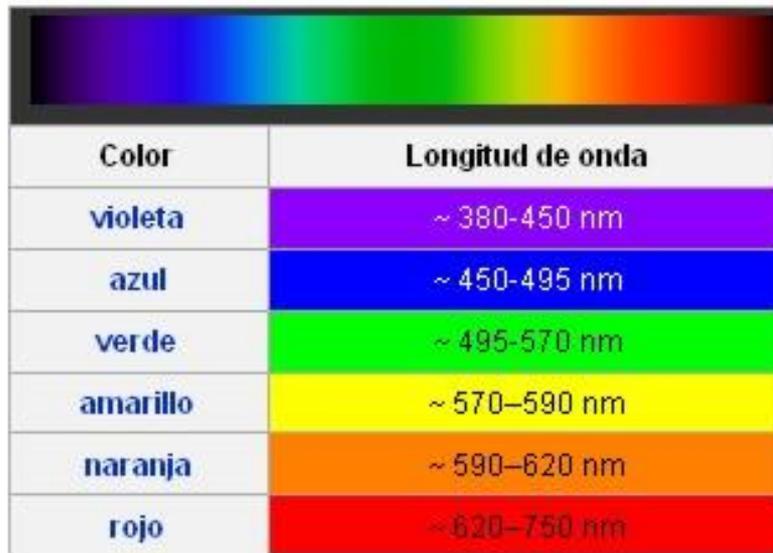


Figura 2.1. Espectro electromagnético

En el presente estudio, trataremos la franja más importante para el ser humano, la luz visible, además de comentar también la franja de la luz UV.

Se denomina espectro de luz visible a la región del espectro electromagnético que el ojo es capaz de percibir. La radiación emitida en este rango de longitudes de onda oscila entre 380 y 780 nm. Dentro del espectro de luz visible, existen distintas bandas que se corresponden con luz violeta (longitud de onda menor), azul, verde, amarilla, anaranjada y, finalmente, roja (longitud de onda mayor).

Se pueden observar en la siguiente tabla (**Tabla 2.1.** ).



Color	Longitud de onda
violeta	~ 380-450 nm
azul	~ 450-495 nm
verde	~ 495-570 nm
amarillo	~ 570-590 nm
naranja	~ 590-620 nm
rojo	~ 620-750 nm

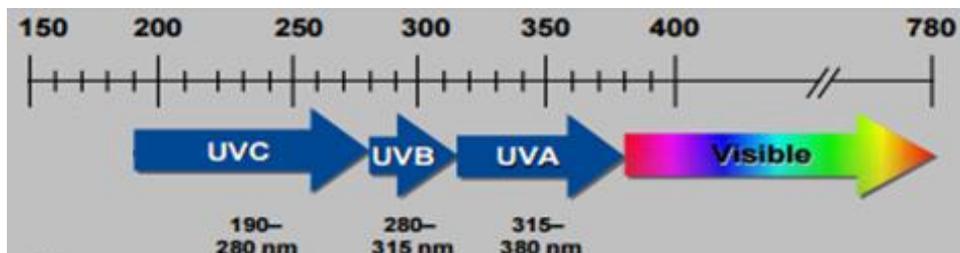
**Tabla 2.1.** Bandas del espectro de luz visible.

En los estudios posteriormente comentados y mostrados en la bibliografía, se cita la relación entre la parte del espectro visible más energética (longitud de onda corta) y diversas alteraciones del sistema visual del ser humano producidas por una excesiva exposición a la misma.

La luz azul de alta emisión energética (460 - 470 nm) es la de mayor impacto en el sistema visual, estando estrechamente relacionada con la alteración del ciclo circadiano y con la aparición temprana de algunas patologías como la Degeneración macular asociada a la edad (Grimm et al). Se considera que aproximadamente el 24% de la luz blanca es azul, es decir, emite longitud de onda corta y de energía elevada. Se entiende por radiación ultravioleta (UV) la radiación electromagnética cuya longitud de onda es menor a la correspondiente al espectro visible (>380 nm) pero superior a la de la radiación emitida por los rayos X (<10 nm). Por tanto, estamos hablando de una franja de radiación variable entre los 10 y los 380 nm, muy energética y cuya fuente más habitual es el sol, aunque existen algunas otras fuentes artificiales de emisión en estas longitudes de onda, como las lámparas UV.

La radiación UV se divide en varios subtipos: UVA, UVB, UVC, UV<sub>cercano</sub>, UV<sub>medio</sub>, UV<sub>de vacío</sub> y UV<sub>extremo</sub>. De todos ellos, en este estudio nos centraremos en los tres primeros (**Figura 2.2.**):

- **UVA:** Compuesta por radiaciones de longitud de onda comprendida entre los 315 y los 380 nm, aproximadamente. La mayor cantidad de luz ultravioleta que penetra la atmósfera se corresponde con este rango. La incidencia de dichos rayos está asociada a un daño de la piel a largo plazo tal como la aparición de arrugas, además de desempeñar un papel importante en el desarrollo de algunos tipos de cáncer.
- **UVB:** Compuesta por radiaciones de longitud de onda comprendida entre los 280 y los 315 nm, aproximadamente. Un 10% de las radiaciones penetrantes en la atmósfera se corresponden con este rango. La incidencia de dichos rayos causa daño directo en el ADN celular. Son los principales causantes de quemaduras solares.
- **UVC:** Radiaciones comprendidas entre los 100 y los 280 nm, aproximadamente. Son absorbidas, aunque no en su totalidad, por la capa de ozono de la atmósfera. Por tanto, no penetran en esta y no son componentes de la luz solar.

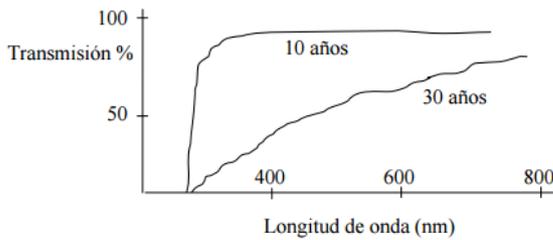


**Figura 2.2.** División entre los distintos tipos de radiación UV entre 150 nm y 380 nm.

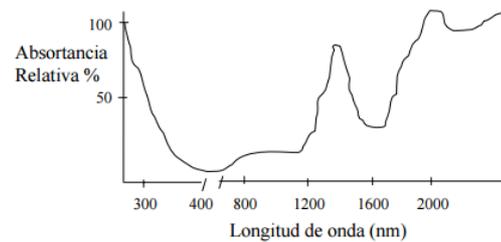
### 2.1.2. Absorción de la radiación en los medios oculares

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE), considera siete zonas del espectro electromagnético (Rayos  $\gamma$ , Rayos X, UV, Espectro Visible (VIS), infrarroja (IR), microondas y ondas de radio-frecuencia). Las radiaciones no ionizantes incluyen el UV, VIS y IR, y son las más importantes para conocer la absorción que tiene lugar en los distintos medios oculares en los que inciden dichas radiaciones (Óptica Oftálmica II; Artigas, J.M. 2013).

Primeramente, nos encontramos con la **córnea**. Esta estructura, absorbe toda la radiación de longitud de onda inferior a los 290 nm (región UV), transmitiendo prácticamente toda la radiación correspondiente al espectro visible. Además absorbe, en su mayoría, la radiación IR y, por tanto, actúa de filtro verso ésta (**Figura 2.3. y 2.4.**).

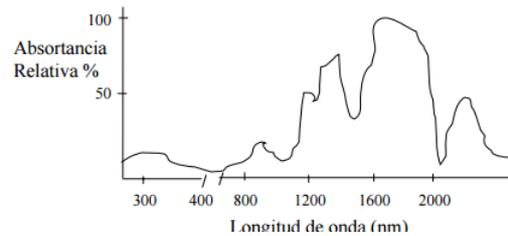


**Figura 2.3.** Espectro de transmisión de la córnea.



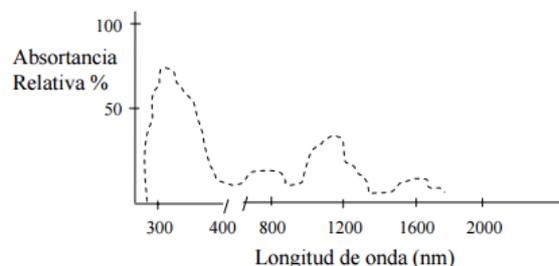
**Figura 2.4.** Espectro de absorción de la córnea (variación con la edad).

La siguiente estructura ocular con la que se encuentra la radiación incidente, es el **humor acuoso**. Éste, que contribuye a la absorción del UV que ha dejado pasar la córnea, mientras que su absorción en el espectro visible es despreciable, y absorbe de significativamente en el IR (**Figura 2.5.**)



**Figura 2.5.** Espectro de absorción del humor acuoso.

A continuación, se encuentra el **crystalino**. Su absorción es elevada en el violeta – azul (380 – 400 nm), aunque este valor disminuye con la edad. En el UV, absorbe entre 300 y 380 nm, por lo que es el filtro que evita que el UVA llegue hasta la estructura de la retina. Por ello, en el caso de una extracción del cristalino en una operación de cataratas, la incidencia de luz UV es mucho más elevada. En el IR, el cristalino transmite toda la radiación (**Figura 2.6.**).



**Figura 2.6.** Espectro de absorción del cristalino.

El **humor vítreo**, por su parte, es transparente a toda radiación. Es decir, toda ella se transmite, presentando únicamente una pequeña absorción en la franja del IR (**Figura 2.7.**).

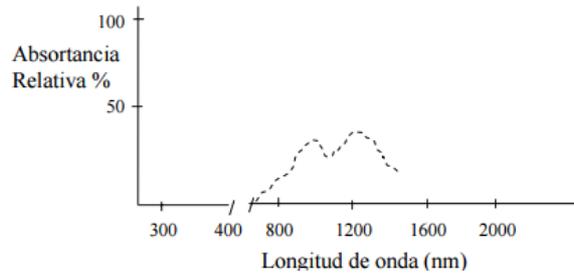


Figura 2.7. Espectro de absorción del humor vítreo.

Se concluye, por tanto, que la radiación incidente en la retina estará constituida principalmente por luz del espectro visible e IR cercano, aunque también puede incidir luz UV (siendo ésta en menor proporción que la visible y el IR, y más relevante en pacientes afáquicos).

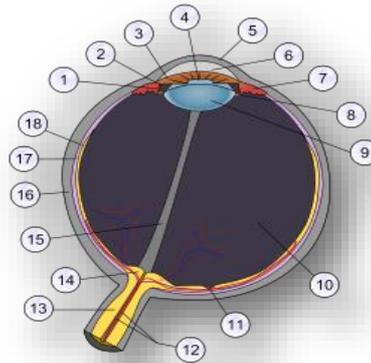
### 2.1.3. La Retina

La retina es un tejido ocular no regenerativo sensible a la luz situado en la parte posterior del globo ocular, cubriendo todo el interior de éste. Está constituida por diversas estructuras, permitiendo la obtención de imágenes visuales (**Figuras 2.8. y 2.9.**). La luz incidente en la retina desencadena diversos procesos bioquímicos y eléctricos que se transforman en impulsos nerviosos y que son transmitidos al cerebro mediante el *nervio óptico* (Tresguerres JAF.; 1998).

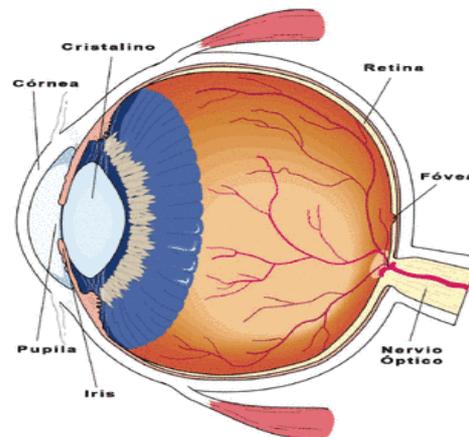
La retina está formada básicamente por diversas capas de neuronas interconectadas entre sí permitiendo la transmisión de información visual mediante sinapsis neuronales. Las células principales de la visión, encontradas en la capa más profunda de la retina, son las *células fotosensibles*. Se distinguen dos tipos de células especializadas fotosensibles: los *conos* y los *bastones*, repartidos de forma desigual por toda la superficie. La retina humana está formada por aproximadamente 6.7 millones de conos y 120 millones de bastones por ojo. Cada uno de los conos mantiene una sinapsis directa e individualizada con la parte posterior del cerebro, mientras que los bastones se hallan conectados entre sí (Urtubia, C.; 2004).

Los conos son aquellas células especializadas que funcionan en condiciones de iluminación elevada ( $> 10^3 \text{cd/m}^2$ ) y nos proporcionan la visión del color y un mayor detalle y precisión en los objetos. Los bastones, por el contrario, funcionan en condiciones de baja iluminación o iluminación tenue ( $< 10^{-7} \text{cd/m}^2$ ) y nos permiten una adaptación a la visión en blanco y

negro. Estos últimos, captan mejor los movimientos. Por su parte, si nos referimos a la situación de ambos en la retina, los conos abundan en la zona central, denominada *fóvea*, en la cual se obtiene la mayor agudeza visual de un sujeto. Esta zona mide de 2,5 a 3 mm de longitud y tiene una región central denominada *foveola*, totalmente libre de bastones, los cuales abundan en la periferia retiniana.



**Figura 2.8.** Anatomía ocular: 1. Procesos ciliares 2. Cámara posterior 3. Iris 4. Pupila 5. Córnea 6. Cámara anterior 7. Músculo ciliar 8. Ligamento suspensorio del cristalino 9. Cristalino 10. Humor vítreo 11. Fóvea 12. Vasos sanguíneos de la retina 13. Nervio óptico 14. Disco óptico 15. Conducto hialoideo 16. Esclerótica 17. Coroides 18. Ora serrata (Ilustraciones Anatómicas; Antonie Micheau et al. 2014).



**Figura 2.9.** Estructura del ojo humano. Cortesía de John Wiley & Sons Inc. Y Prof. M. D. Fairchild (Rochester Institute of Technology, Rochester, NY, USA).

Entre los conos, podemos diferenciar tres tipos, que difieren según la recepción del color. La percepción del color depende de la activación de cada una de éstas células (conos rojos, verdes o azules).

Actualmente se estima que de los 6.7 millones de conos que existen en la retina, un 64% son rojos, un 32% son verdes y únicamente un 2% corresponden a los azules (de mayor sensibilidad). Los conos más abundantes (verdes y rojos) se sitúan en la zona central de la

fóvea mientras que los azules se encuentran, en su mayoría, fuera de la fóvea. En este estudio, nos centramos en la luz azul por lo que nos interesan los conos azules. Éstos, se identifican por un pico de su curva de sensibilidad en los 445 nm.

Desde finales del siglo XIX, cuando *Von Kris* propuso su teoría dual de la visión, se ha aceptado la existencia de dos únicos fotorreceptores retinianos (bastones y conos). A los largo de los años y gracias a la investigación en el ámbito, *Kashani* propuso la hipótesis triple de la visión, dónde afirmaba la existencia de una función no visual de la retina, correspondiente a las células ganglionares fotosensibles o “intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells” (ipRGC) (Perez, J. et al, 2009). Estas células, no desembocan en la formación de imágenes, y contienen un pigmento sensible a luz azul, teniendo un máximo de sensibilidad alrededor de los 460 – 470 nm, la melanopsina.

Hasta la fecha, las funciones no visuales de las ipRGC son la **sincronización del ritmo circadiano con los ritmos de la luz/oscuridad**, la **regulación del diámetro de la pupila**, la **supresión de la melatonina** y la **regulación del estado de sueño/vigilia** (Lucas et al., 2001, 2003; Panda et al., 2003).

### 2.1.3.1. Estructura retiniana microscòpica

Microscòpicament, la retina està formada per diverses capes (**Figura 2.10.**).

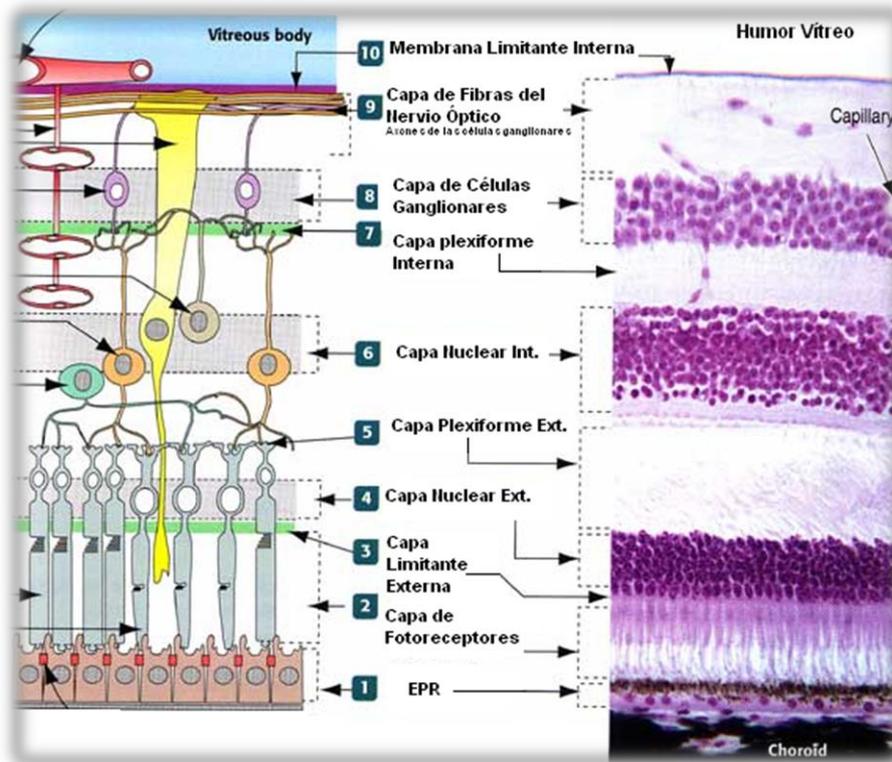


Figura 2.10. Capes de la retina (F.Loayza, Oftalmologia Pediàtrica)

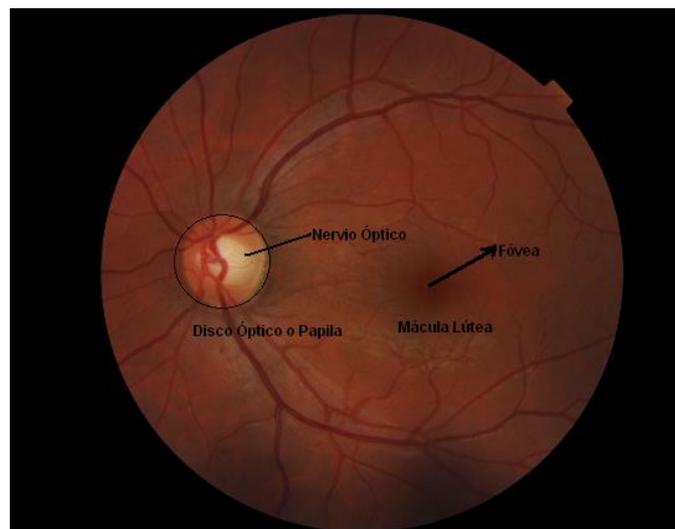
1. **Epiteli pigmentari de la retina (EPR):** Es la capa més externa de la retina. Formada per cèl·lules de geometria cúbica que poseen melanina.
2. **Capa de fotorreceptors (FR):** Formada per los segments més externs de los conos y los bastones.
3. **Capa limitante externa:** Zona de interconnexió entre los segments externs de los FR y las cèl·lules de Müller.
4. **Capa nuclear externa:** Formada per los núcleos cel·lulars de las cèl·lules fotorreceptoras.
5. **Capa plexiforme externa:** Zona de sinapsis entre los núcleos cel·lulars de los fotorreceptores y las cèl·lules bipolares.
6. **Capa nuclear interna:** Formada per los núcleos cel·lulars de las cèl·lules bipolares, amacrinas y horizontales.
7. **Capa plexiforme interna:** Regió de connexió entre cèl·lules bipolares, amacrinas y ganglionares.
8. **Capa de cèl·lules ganglionares:** Formada per los núcleos de las cèl·lules ganglionares.

9. **Capa de fibras del nervio óptico:** Región formada por los axones transmisores de las células ganglionares que, agrupados, forman el nervio óptico, permitiendo la transmisión de información al cerebro.
10. **Capa limitante interna:** Capa fina que hace de barrera entre la retina y el humor vítreo.

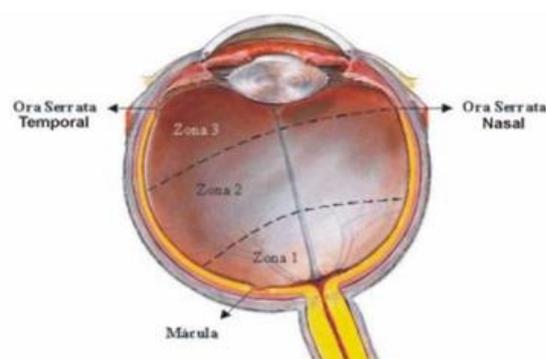
### 2.1.3.2. Estructura macroscópica retiniana

Macroscópicamente, la retina está formada por: (**Figuras 2.11. y 2.12.**)

- **Papila o disco óptico.** Denominado también mancha ciega ya que no está dotada de células fotorreceptoras.
- **Ora serrata.** Formando el límite anterior de la retina.
- **Mácula lútea.** Pequeña zona de la retina especializada en la visión fina de los detalles que utilizamos para poder leer y distinguir los rostros. Se diferencian: la *fóvea*, formada únicamente por un tipo de fotorreceptores, los conos, y la *foveola*.



**Figura 2.11.** Retina Humana (Simple Anatomy of the Retina; H. Kolb; 1991)



**Figura 2.12.** Partes de la retina (A.P. de Souza, 2012).

La zona macular tiene una coloración específica, más amarillenta y pálida que el resto de las estructuras retinianas. Esto es debido a la presencia de un pigmento visual denominado *melanopsina*, formado por isómeros de xantofilias, luteína y zeaxatina. La *melanopsina* tiene un pico de absorbancia espectral en la longitud de onda de 460nm (luz azul). Por tanto, este pigmento actúa como filtro para la luz de tal longitud de onda.

Así, estudios realizados a humanos y a otros animales han demostrado que una prolongada exposición a luz azul causa una fototoxicidad en las células de diversos tejidos oculares, como pueden ser la retina o el cristalino.

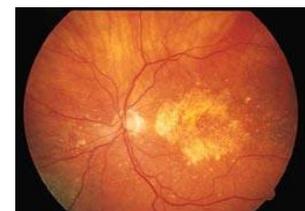
Actualmente, según cita un estudio de la *Universidad Complutense de Madrid* publicado en la revista *Salud Visual*, se sospecha que la exposición de forma crónica a la luz visible de longitud de onda corta emitida por numerosos instrumentos como pantallas LED, PVD, Smartphone, tabletas e incluso algunos electrodomésticos de uso habitual, puede estar directamente relacionada con el desarrollo y evolución temprana de algunas enfermedades asociadas a la retina y al cristalino. En el primer caso, hablaríamos del desarrollo temprano de DMAE, mientras que si nos referimos a la estructura del cristalino, encontramos el desarrollo de cataratas.

### 2.1.3.3. Degeneración Macular Asociada a la Edad (DMAE)

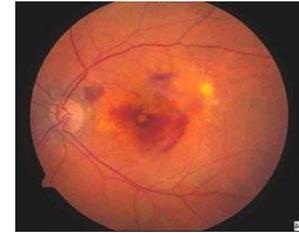
La *Degeneración Macular Asociada a la Edad* abreviada como DMAE, es una enfermedad degenerativa de la zona central de la retina (Mácula) que provoca un deterioro progresivo de las células que forman dicha estructura. Como consecuencia, se produce una pérdida visual severa (afectando a la realización de tareas de la vida cotidiana como la lectura, el reconocimiento de rostros, ver la televisión o coser).

Existen, dos tipologías diferentes de DMAE:

- **DMAE “Seca”**. Es la más frecuente, afectando aproximadamente a un 80% de la población. Se caracteriza por la pérdida lenta y progresiva de la visión.



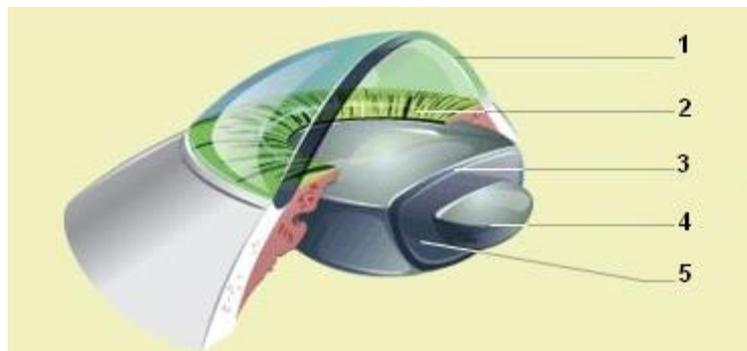
- **DMAE “Húmeda”**. Su incidencia es de menor frecuencia pero más severa que la anterior. Se caracteriza por el crecimiento de neovasos muy delgados e irregulares que filtran sangre a la zona macular. La progresión de esta condición es rápida.



La DMAE es la principal causa de pérdida de visión en personas mayores de 65 años en el mundo occidental, afectando gravemente a su calidad de vida. Además, está asociada a diversos factores de riesgo como son la edad, la raza, el género, el tabaquismo o el alcoholismo, la hipertensión, la predisposición genética, la dieta habitual o la exposición a la luz.

#### 2.1.4. El Cristalino

El cristalino es una estructura ocular en forma de lente biconvexa situada posteriormente al iris y anteriormente al humor vítreo (**Figura 2.13.**). Además, está rodeado de procesos ciliares que lo mantienen sujeto verticalmente, permitiendo el paso de luz y el enfoque de objetos situados a diferentes distancias. Este enfoque se consigue mediante el proceso de la acomodación que se caracteriza por la modificación de la curvatura y el espesor de esta estructura.



**Figura 2.13. Estructura del Cristalino;** 1. Córnea; 2. Iris; 3. Cápsula del Cristalino; 4. Núcleo del Cristalino 5. Corteza del Cristalino (Anatomía del Órgano Ocular; A.M.Prada, 09-2014).

El cristalino, con la edad, sufre cambios tanto funcionales como en su estructura. Éstos, conducen a la pérdida de la capacidad de enfoque, produciendo un endurecimiento del mismo y una pérdida progresiva de transparencia (cataratas).

### 2.1.4.1. Cataratas

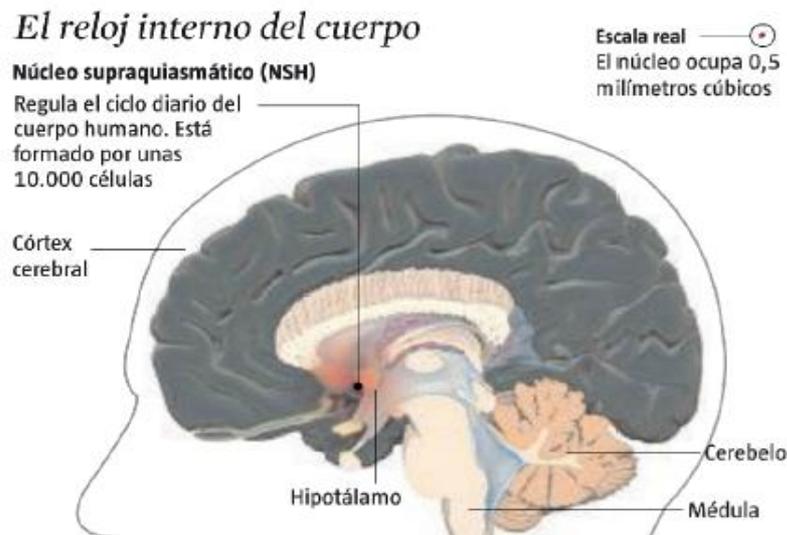
Otra de las posibles consecuencias de la radiación, en este caso la UV y la luz azul visible, es la aparición de cataratas. Las cataratas se definen como la opacificación parcial o total del cristalino, provocando que la luz incidente se disperse dentro del globo ocular y no pueda ser enfocada en la retina y, creando así imágenes difusas. Las cataratas son la causa más común de ceguera reversible mediante cirugía ocular y generan alteraciones en la visión del color, disminución notable de la sensibilidad al contraste y dificultades en la realización de tareas habituales como la lectura y la conducción, entre otras.

La radiación UV, específicamente la UV-B, ha mostrado ser una de las causas principales en la aparición de cataratas, atribuyéndose esto a la desnaturalización de las proteínas del cristalino. Actualmente, se estudia la incorporación de un filtro amarillo en las lentes intra-oculares (LIO's), para evitar, así, la penetración de la radiación de longitud de onda corta en la estructura retiniana. Además, introduciendo éste filtro de coloración amarillenta, la disparidad de coloración entre la LIO implantada y el cristalino extraído se minimiza.

## 2.2. CICLO CIRCADIANO

### 2.2.1. Definición

Proveniente del latín “*circa diez*” y con significado de “aproximadamente un día”, es el ciclo de sueño-vigilia que se repite como una constante en nuestras vidas cada 24 horas, dividiendo éstas en ocho para el sueño y dieciséis para la vigilia. Éste ciclo está regido por un reloj biológico interno e intrínseco de cada individuo que determina cuándo debemos dormir y cuándo despertar. El ritmo circadiano afecta a los procesos bioquímicos, fisiológicos y conductuales del individuo (**Figura 2.14.**).



**Figura 2.14.** El reloj interno del cuerpo. Fuente: Escuela de Medicina de Harvard. (Corbella, J.; 2014)

Las señales externas “*zeitgebers*” alteran el ritmo circadiano, provocando a su vez una alteración en el funcionamiento del cuerpo humano. También, en determinadas cantidades, nos ayudan a equilibrar nuestros ritmos.

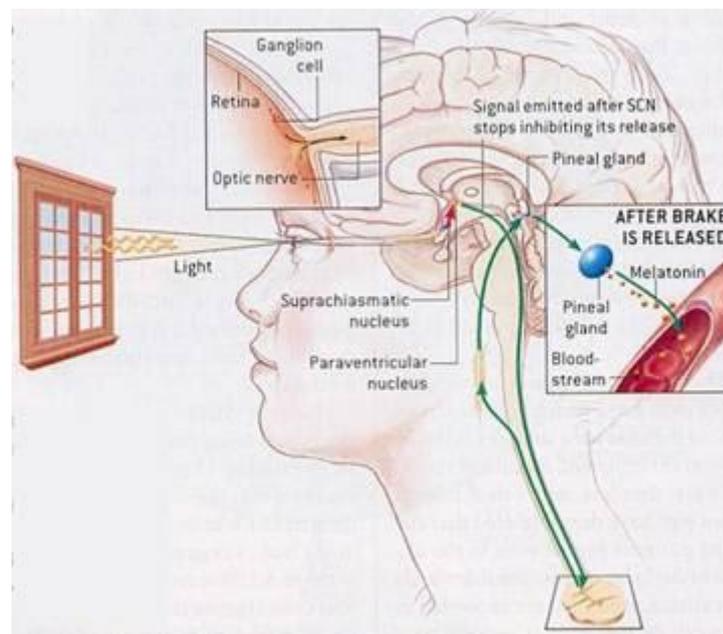
Algunas de estas señales son la temperatura, la alimentación, las interacciones sociales o la luz (ciclo lumínico del planeta tierra), siendo esta última la más influyente en dichos cambios. Así, el exceso de luz o escasez de la misma juegan un papel muy importante en la regulación de los ciclos internos de los individuos, sobre todo en el ciclo del sueño. Cualquier ser vivo, desde los hongos y las bacterias hasta las plantas y los animales poseen un ciclo circadiano.

### 2.2.2. Luz AZUL - Influencia en el ciclo circadiano

Existen estudios que demuestran que el sincronizador con mayor impacto en nuestro ciclo de sueño es la luz. La fisiología humana no está dotada para diferenciar entre la luz natural y la luz artificial, siendo de igual manera la afectación de ambas en el cuerpo humano y especialmente en el globo ocular.

Para nuestro ritmo circadiano, estudios realizados en la *Escuela de Medicina de Harvard* y publicados en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS) (Chang, A-M et al. (2014)), corroboran que damos el mismo significado y reacción a la luz azul del cielo a las diez de la mañana que la luz azul de una pantalla a las doce de la noche, siendo esta última situación la que actualmente parece alterar en mayor medida nuestros patrones del sueño.

El ciclo de sueño está regido por un proceso complejo controlado por una parte de nuestro cerebro denominada *hipotálamo*, que involucra diferentes sustancias como son la melanopsina y la melatonina. Las células ganglionares de la retina sensibles a la luz (ipRGC), contienen un fotopigmento, la melanopsina, con un máximo de absorción entre 460 y 470 nm. Estas células, a través del tracto retinohipotalámico, llevan información al núcleo supraquiasmático del hipotálamo para la posterior sincronización de conductas como el ritmo circadiano del sueño-vigilia. El núcleo supraquiasmático, por su parte, envía esta información al ganglio cervical superior y desde ahí, la señal se dirige hacia la glándula pineal (epífisis), encargada de la secreción de la melatonina en este ciclo (**Figura 2.15.**). La melatonina es una hormona que produce cambios sobre los patrones de luz y oscuridad. De esta manera, se puede afirmar que la luz azul regula la secreción de *melatonina*, también conocida como “la hormona del sueño”. Expuestos a luz, se desactiva la secreción de ésta sustancia y nos mantenemos en “estado de alerta”, mientras que en ausencia de luz, la producción de melatonina se activa dando lugar a la aparición del sueño (M. Figueiro et al, 2015). Por tanto, una luz tenue al final del día favorece que se libere *melatonina* y, por el contrario, una luz intensa inhibe la liberación de ésta sustancia, especialmente si la luz tiene una longitud de onda corta como es habitual en las Tabletts y los Smartphones iluminados con LEDs (Brittany Wood et al, 2013).



**Figura 2.15.** Melatonina y Melanopsina (Ciclo). ([http://2.bp.blogspot.com/Kj5V6QGKNh4/TcKYrjag-JI/AAAAAAAAA\\_4/AHUD5fYv\\_IIE/s400/circadiano.jpg](http://2.bp.blogspot.com/Kj5V6QGKNh4/TcKYrjag-JI/AAAAAAAAA_4/AHUD5fYv_IIE/s400/circadiano.jpg))

Hoy en día, estamos expuestos de forma continuada a flujo constante de luz (artificial y natural) aproximadamente de 14 horas de media (Rideout et al, 2010). Durante el día, esto no supone un problema ya que debemos estar despiertos. Pero por la noche, cuando deberíamos estar dormidos, tendemos a sentarnos frente a una pantalla que emite luz azul, alterando nuestro sueño y provocando un desajuste en él.

Además, resulta de suma importancia hablar del sueño REM (Rapid Eye Movement). Se trata de una fase del descanso imprescindible para que el sueño resulte reparador. Estudios realizados por los estudiantes de la Facultad de Medicina de Harvard (Corbella, J.; 2014) en el último año, refieren que pacientes que leen un libro disfrutan de una media de 121 minutos de sueño REM durante la noche, mientras que los que leen en una pantalla de visualización de datos (PVD) únicamente disponen de 109 minutos de sueño REM (un 10% menos). Por tanto, la calidad del sueño es peor después de leer en una PVD. Por otra parte, si nos referimos a la secreción de *melatonina*, se observó que a medida que avanza la noche, la secreción de ésta aumenta en usuarios de PVD. Éste aumento, pero, se produce con una media de retraso de 90 minutos respecto los lectores de libro, lo que explica que les costara más conciliar el sueño (Corbella, J. 2014).

Además, numerosas encuestas realizadas mundialmente refieren un estado de “alerta” por la noche en usuarios de tabletas, mientras que la mañana siguiente notaban el efecto contrario. Es decir, los usuarios de tableta referían un estado de somnolencia a primeras horas del día mientras que los usuarios de libro referían un estado de alerta a primeras horas del día (Charles A. Czeisler, 2007).

### 2.3. EL PARPADEO

El parpadeo se define como la depresión de ambos párpados de forma casi imperceptible por el ojo humano. El propósito del parpadeo es humectar el globo ocular mediante secreciones lagrimales (provenientes de las glándulas lagrimales del ojo y drenando a través del conducto naso lacrimal hacia la nariz), eliminar sustancias irritantes de la superficie corneal y conjuntiva y difundir los nutrientes necesarios a través de la lágrima.

El parpadeo, usualmente, se realiza de forma involuntaria en un pequeño período de tiempo (unos 400 milisegundos). Éste tiempo de parpadeo completo puede verse afectado por diversas circunstancias como la fatiga y/o el cansancio ocular, el consumo de medicamentos o el estado anímico.

### 2.3.1. Funciones del Parpadeo

El parpadeo realiza una doble función, fisiológica y cognitiva (ver **figura 2.16.**). La función cognitiva se encuentra relacionada con estados de atención y se ve alterada fácilmente con el estado de fatiga del individuo o, por el contrario, al realizar tareas que requieran una fuerte carga cognitiva como la lectura, el trabajo en ordenador, tableta, etc.



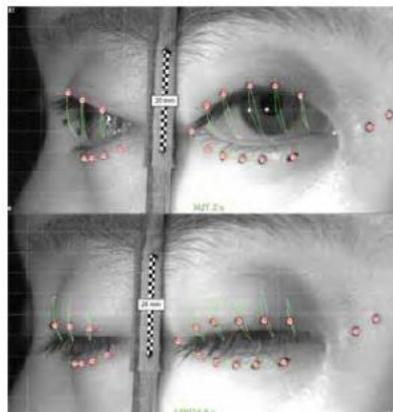
**Figura 2.16.** Funciones del parpadeo, diferenciando entre su vertiente fisiológica y cognitiva.

### 2.3.2. Mecanismo del parpadeo

El parpadeo se produce por la acción inhibitoria del músculo elevador palpebral sumada a la acción activadora del músculo orbicular. El movimiento durante el parpadeo lo realiza el párpado superior con un movimiento mayoritariamente vertical, junto con el párpado inferior con un movimiento lateral (del canto temporal hacia la zona nasal). Este movimiento común se denomina también “movimiento en cremallera” (**Figura 2.17.**), y facilita la distribución de la lágrima y el drenaje de la misma (Wong et al. 1996).

La velocidad y la amplitud del cierre palpebral se ven alteradas por diversos factores, como son la edad y el tipo de parpadeo. También se ven modificadas en condiciones patológicas como en el Parkinson o la miastenia gravis (Sun et al. 1997).

Con la edad, se conoce que el parpadeo se altera, reduciéndose tanto la amplitud como la velocidad del movimiento del párpado superior. Según el tipo de parpadeo, si se trata de un parpadeo espontáneo (modulado a nivel cognitivo) o reflejo (modulado a nivel sensitivo), la velocidad del cierre palpebral varía con una diferencia de aproximadamente 45 ms.



**Figura 2.17.** Movimiento de los párpados durante el parpadeo (Google Imatges).

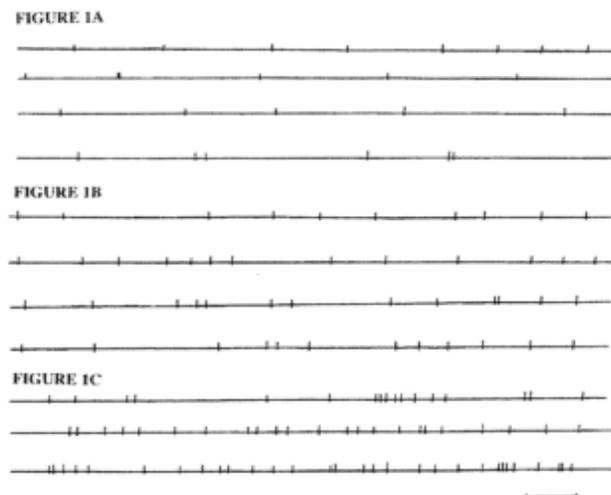
Además, como se ha mencionado, todo el proceso de parpadeo conlleva una pérdida de visión de valor medio de 400 ms en su totalidad. Por tanto, es importante destacar que durante el parpadeo el sistema visual se mantiene durante unos ms a oscuras, causando una interrupción del flujo visual. Pese a ello, no somos conscientes de tales interrupciones visuales ya que existe una supresión cortical que lo evita. Esta supresión cortical se activa 50 ms antes a la producción del parpadeo y produce una disminución de la sensibilidad visual en áreas pre-frontales y occipitales.

### 2.3.3. Frecuencia de parpadeo

Definimos frecuencia de parpadeo (FP) como el número de veces que se parpadea durante un período de tiempo determinado. Es un parámetro variable de un sujeto a otro y también variable dentro de un mismo sujeto, dependiendo de factores visuales y ambientales (Monster et al. 1978; Wolkoff et al. 2003).

Varios autores (Cho et al. 2000; Tsubota 1998), afirman que existe una relación entre la demanda cognitiva de la actividad y la frecuencia de parpadeo. Así, basándonos en diversos estudios (Doughty 2001; Bentivoglio et al. 1997), se demostró que durante una conversación, la mayor parte de los parpadeos se realizan en el mismo período de tiempo, de forma agrupada y en secuencias muy cortas.

En cambio, durante la lectura, estos parpadeos se producen de forma más espaciada en el tiempo y también más regularmente (**Figura 2.18.**).



**Figura 2.18.** Frecuencia y regularidad del parpadeo durante la lectura (A), en posición primaria de mirada y en reposo (B) y durante una conversación (C) (Doughty, 2001).

Efectivamente, los valores medios de frecuencia de parpadeo en posición primaria de mirada (PPM) y en reposo se encuentran entre los 12 y los 19 parpadeos por minuto, hablando, en general de una normalidad en  $15 \text{ parpadeos}/\text{min}$  (Karson et al, 1981). Por su parte, la FP media durante la lectura es de  $7.9 \pm 3.3 \text{ parpadeos}/\text{min}$  (Doughty, 2001).

Además de la demanda cognitiva, existen dos factores más que contribuyen a esta disminución de la frecuencia de parpadeo en la tarea de lectura.

Estos son:

- a) Tarea realizada en silencio y máxima concentración (Doughty, 2001).
- b) Posición de mirada inferior, adoptada al leer. Ésta, hace que la superficie ocular expuesta sea menor y, por tanto, se produzca una menor evaporación de la película lagrimal (Doughty, 2001).

Por otra parte, este valor se ve todavía más afectado, en unas malas condiciones visuales, como una escasa iluminación en la sala de lectura (Blehm et al. 2005), entre otros.

El valor medio de parpadeo durante la conversación es de  $21.5 \pm 5.6$  *parpadeos/min* (Doughty, 2001). Por otra parte, estudios han comparado el parpadeo en una conversación respecto el parpadeo utilizando pantallas de visualización de datos, observando una disminución de un 66% en la última condición (Freudenthaler et al. 2003).

#### Otras variaciones fisiológicas

En cuanto a la **edad**, se ha observado que la frecuencia de parpadeo aumenta los primeros años de vida respecto el nacimiento y se estabiliza entre los 20 y los 25 años (Zametkin et al. 1979).

#### **2.3.4. Tipos de parpadeo**

Los parpadeos se distinguen en función de dos aspectos:

##### **a) Según la totalidad del parpadeo:**

- i. Parpadeo completo
- ii. Parpadeo incompleto
- iii. Pestañeo

Aproximadamente el 80% de los parpadeos son completos y se describen como aquellos en los que el párpado superior cubre más de  $\frac{2}{3}$  de la superficie corneal.

No obstante, el 18% no cumple este requisito, por lo que se les denomina parpadeos incompletos y están asociados a sintomatología como la fatiga visual. Por último, el 2% restante se describe como pestañeos o movimientos en forma de ráfaga, rápidos y normalmente repetitivos, que no suelen cubrir el 30% de la superficie corneal.

**b) Según la voluntad del sujeto:**

- i.** Parpadeo reflejo
- ii.** Parpadeo voluntario
- iii.** Parpadeo espontáneo

El parpadeo puede ser de diferente naturaleza; reflejo, voluntario o involuntario (o espontáneo).

El parpadeo reflejo es aquel que se produce en respuesta a un estímulo externo, normalmente de naturaleza auditiva (ruido molesto), visual (destello) o por una estimulación del nervio trigémino (Sibony and Evinger, 1998).

También, se realizaría este parpadeo en el momento de rotura de la película lagrimal cuando, gracias a la sensibilidad de los terminales nerviosos de la córnea y la detección de estos de zonas de sequedad, se produce el parpadeo para su correcta lubricación. El parpadeo voluntario, por su parte, es el que se realiza de forma consciente.

Por último, el parpadeo involuntario es aquel que se realiza, como su nombre indica, de forma involuntaria o espontánea, sin que existan estímulos externos que lo provoquen. Su regulación, por tanto, es estrictamente cortical y según estudios realizados se determina que está controlado por un “generador de parpadeos” que se encuentra en el cerebro (Acosta et al. 1999). Existen numerosos parámetros que modifican este parpadeo involuntario, como pueden ser la temperatura ambiental, la iluminación o la visualización de pantallas.

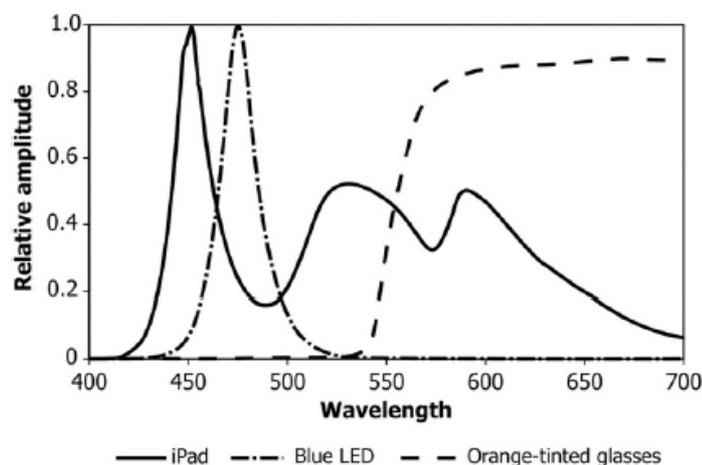
**2.3.5. Regularidad del Parpadeo y Variaciones fisiológicas**

La regularidad del parpadeo nos describe lo regular que es el ritmo del parpadeo en un determinado período de tiempo. Igual que la frecuencia de parpadeo, y como se ha visto anteriormente (**Figura 2.18**), la regularidad también varía en función de la actividad que el sujeto esté llevando a cabo. Por ejemplo, durante una conversación la mayor parte de los parpadeos se dan de forma agrupada, en secuencias muy cortas, mientras que durante la lectura se suceden en un espacio temporal mayor y de mayor regularidad (Doughty, 2001).

## 2.4. PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE DATOS (PVD)

Actualmente, el avance imparable de las tecnologías ha hecho de las pantallas de visualización de datos (PVD) un instrumento visual imprescindible en la vida de muchas personas. Hoy en día, es casi impensable que en un hogar no haya, al menos, uno de estos instrumentos que funcione con este tipo de pantallas LED, como por ejemplo un televisor, una tableta, un Smartphone, un e-book, un ordenador o algunos electrodomésticos de uso habitual en la vida cotidiana. Los últimos estudios realizados sobre compra de este tipo de instrumentos indican unas ventas que ascienden a 195 millones de tabletas, 967 millones de Smartphones y 2.200 millones de ordenadores (Garther, 2013). Además, se prevé un aumento de usuarios de internet a nivel mundial de un 676,3% durante el año 2015 (Miniwats Marketing Group, 2014).

Las pantallas LED ofrecen imágenes en alta resolución, con contrastes de calidad, pero emiten un pico de luz azul que dependiendo del LED emisor puede estar centrado en un rango de longitudes de onda entre 450 – 480 nm (**Figura 2.19.**). Ésta longitud de onda, como se ha comentado anteriormente, puede ser perjudicial para el sistema visual y el ritmo circadiano de una persona.



**Figura 2.19.** Espectro de emisión de los actuales iPad y LED azul, conjuntamente con el espectro de transmisión de los vidrios tintados naranjas.

La aparición de este tipo de pantallas ha sido un avance tecnológico muy esperado los últimos años.

Los creadores del innovador LED azul, los investigadores japoneses *Isamu Akasaki, Hiroshi Amano* y *Shuji Nakamura*, recibieron el premio nobel de física el pasado año 2014. Estos investigadores crearon en los años 90 unos haces de luz azul brillantes que combinados adecuadamente con diodos rojos y verdes, permitían crear lámparas de luz blanca con tecnología LED.

Debido al uso continuado de estas pantallas por parte de los usuarios (aproximadamente unas 14 horas diarias –Rideout et al, 2010), es interesante estudiar el comportamiento y la interacción del ojo humano con las PVD, así como los efectos que estas pueden conllevar en la visión.

Los efectos nocivos que producen en la visión se agrupan dentro del denominado Síndrome Visual Informático (SVI): fatiga visual, cefalea, sensación de cuerpo extraño (SCE), discomfort visual, visión borrosa en distancias lejanas tras un trabajo prolongado, escozor ocular, hipersensibilidad a la luz o cambios refractivos.

Un equipo de la *Universidad Complutense de Madrid* ha llevado a cabo un estudio encaminado a demostrar que el ser humano puede no estar preparado para tolerar la radiación de determinada luz azul. En concreto, el estudio se centró en observar los efectos de la exposición prolongada a una intensa luz LED azul de las células del epitelio pigmentario de la retina (EPR) durante 72 horas, en una especie concreta de ratón. En los resultados obtenidos se observó que el 93% de las células de dicho tejido morían al no tener protección frente a la luz azul. No obstante, sería necesario establecer las condiciones de tiempo e intensidad de luz LED azul a la que está sometida una persona cuando trabaja con emisores LED actuales, para poder extrapolar estos estudios con ratones, a los posibles efectos nocivos sobre humanos.

Desde el punto de vista estrictamente de la iluminación, se ha observado que la elevada energía lumínica que emiten estas pantallas afecta a los niveles de atención y de rendimiento, además de influir, de esta manera, al sistema cognitivo. Anecdóticamente, encontramos variedad de opiniones frente a este tema, ya que también existen ciertos estudios que citan que la luz azul emitida por estas pantallas ayuda a un aumento de la concentración y el rendimiento escolar (Stéphanie van der Lely, Msc et al, 2014).

Si bien los expertos indican que no es estrictamente necesario dejar de utilizar este tipo de instrumentos (Martínez, J.C. Luz azul, compatible con nuestros ojos? Fundación Salud Visual, Desarrollo Optométrico y Audiológico), hay que tomar conciencia de la utilización adecuada de los dispositivos y aplicar una serie de medidas de prevención (*Revista Salud Visual*), como son:

- Posponer el máximo tiempo posible la utilización de los dispositivos LED en niños, hasta una estabilización del sistema visual. El desarrollo del aparato visual es un proceso dinámico que sufre modificaciones anatómicas y fisiológicas aun después del nacimiento y se perfecciona sobre la base de la experiencia visual que se adquiera durante los primeros 10 años de edad.
- Tomar conciencia del parpadeo durante el uso de los dispositivos.
- Realizar un descanso de entre tres y cinco minutos, cada veinte minutos de exposición.
- Reducir las horas de uso de pantallas LED, específicamente en horas cercanas al sueño.
- Utilizar filtros específicos para la protección a dicha luz.
- Utilizar los recubrimientos necesarios en las lentes oftálmicas, como el antireflejante, para evitar en el mayor número la incidencia de la luz azul en la estructura retiniana.

#### **2.4.1. Importancia del parpadeo durante el uso de PVD**

El parpadeo se ve afectado negativamente con el uso de PVD, produciéndose una disminución de su frecuencia. Esta reducción del 32 al 42% respecto a condiciones normales (Schlote et al, 2004; Chu et al, 2014), produce los síntomas anteriormente citados. Debe tenerse en cuenta que la frecuencia del parpadeo puede verse afectada también por una mala iluminación, un tamaño de letra inadecuado o un tipo de fuente o contraste inapropiado.

Numerosos estudios atribuyen la sequedad y fatiga ocular al elevado número de parpadeos incompletos y totalmente involuntarios producidos durante una tarea continuada frente una pantalla de visualización de datos. El parpadeo incompleto es el responsable de la elevada inestabilidad de la película lagrimal, dejando zonas de la superficie ocular expuestas a condiciones ambientales e impidiendo la correcta función de las glándulas de meibomio.

## 2.5. EL PARPADEO Y EL ESTADO DE ALERTA

La fatiga visual y el parpadeo se encuentran muy relacionados. Un ejemplo de ello aparece en los múltiples estudios que tratan sobre la conducción.

Actualmente, las situaciones en las cuales el conductor no mantiene el 100% de su atención sobre la carretera son más habituales de lo que nos puede parecer. El cansancio, estrés o simplemente una distracción puntual al volante pueden ser el detonante de un accidente de tráfico provocando así un daño propio y/o colateral innecesario.

### 2.5.1. El parpadeo en la conducción. Fatiga visual.

En la conducción, la frecuencia de parpadeo y el grado de apertura palpebral son dos parámetros utilizados para valorar el nivel de cansancio o la aparición de fatiga ocular en el conductor (Ji, Zhu y Lan, 2004). La fatiga ocular aparece en el momento en el que se reconoce una disminución de la frecuencia de parpadeo y de la apertura palpebral del conductor (**Figura 2.20.**).



**Figura 2.20.** Los tipos de alerta que garantizan una conducción segura. Tecmovia (2015).

Según la DGT, un 40% de los accidentes de tráfico son producidos por la fatiga y el cansancio visual, provocado un estado de somnolencia en el conductor, aumentado así el tiempo de reacción. Por este motivo, algunos fabricantes de automóviles se han atrevido a diseñar un sistema de detección de somnolencia que consiste en un sistema dotado con una video-cámara integrada en el vehículo que grava de forma continuada los ojos del conductor mientras conduce, y registra la frecuencia y la velocidad del parpadeo.

A continuación, el dispositivo deduce el cansancio del conductor y le avisa a través de diferentes métodos (mediante un sonido de alerta o mediante un indicador que varía su color: verde (atención), pasando a amarillo (detección de cansancio) y, finalmente, llegando al rojo, acompañado de un pitido para que el conductor realice un período de descanso).

### 3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El presente trabajo se basa en los múltiples estudios descritos anteriormente relacionados con los parámetros del parpadeo y sus alteraciones con el uso de PVD, la fatiga visual y el SVI, la luz azul y el UV, y sus repercusiones sobre el ciclo circadiano y algunas patologías oculares (como la DMAE y las Cataratas) y los filtros de absorción selectiva, usados para prevenir los problemas visuales (como la fatiga visual), y las patologías asociadas a la luz de menor longitud de onda. Conocemos, por una parte, que la luz azul afecta al ciclo circadiano, a la fatiga visual y que, además, produce una toxicidad en unas células determinadas de la retina, como se ha comentado anteriormente. Sabemos, por otra, que la fatiga visual puede estar relacionada y, por tanto, puede evaluarse, a partir de las variaciones en los parámetros del parpadeo, todo ello relacionado también con el estado de alerta y atención.

Basándonos en ello, planteamos el siguiente objetivo:

- Valorar la influencia de los filtros de luz azul en los parámetros del parpadeo (frecuencia, regularidad y amplitud) durante una tarea de lectura y, en consecuencia, estimar si el uso de tales filtros podría mejorar los síntomas de sequedad ocular asociados al Síndrome Visual Informático. Analizar las diferencias al comparar con una condición *Baseline* de posición primaria de mirada y silencio.

Además, como objetivo secundario de dicho trabajo:

- Recuento de palabras leídas en las dos condiciones experimentales (con y sin filtro). Este recuento nos debería servir, también, para valorar la fatiga visual, y la posible mejora de la misma asociada a la incorporación de un filtro de absorción selectiva durante la lectura.

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Sujetos y Condiciones Éticas

La muestra evaluada en el presente estudio está conformada por 29 sujetos de los cuales 19 son de sexo femenino (65.5%) y 10 son de sexo masculino (34.5%), de rango de edades comprendidas entre los 18 y los 30 años de edad, con una media de 22 años, siendo un 62.07% de los evaluados  $\leq$  a 22 años y un 37.93%  $>$  22 años.

Este grupo de individuos está formado por estudiantes universitarios de grado de la Facultad de Óptica y Optometría de Terrassa “FOOT”, estudiantes de otras facultades de la UPC, profesorado de la UPC, así como familiares y conocidos de los mismos. Para facilitar la captación de participantes, se publicitó el estudio a través de las redes sociales y de las listas de distribución de la FOOT (**Anexo 1**). Además, para agradecer a los participantes su colaboración, todos ellos entraron en un sorteo de un lote de libros.

Como **consideraciones éticas** del estudio destacaremos que todos los pacientes fueron informados del procedimiento de las medidas, antes de su ejecución, así como de la protección de sus datos y la confidencialidad de éstos, según la LO 15/1999 de Protección de Datos Personales. Además, para una constancia y validez de ello, todos los sujetos firmaron un consentimiento informado, donde se explicaron los fines del estudio (**Anexo 2**).

### 4.2. Criterios de Exclusión

Los criterios de exclusión establecidos en el presente estudio engloban deficiencias en la visión binocular afectando a la fusión (como forias descompensadas o ambliopías, o problemas acomodativos), así como patologías que influencien en los parámetros del parpadeo o en la estabilidad de la película lagrimal (p.ej.: pacientes diagnosticados de ojo seco).

### 4.3. Materiales y procedimiento

El presente estudio se engloba dentro del grupo de estudios transversales y observacionales, dónde no existe un grupo control como tal, sino que el mismo sujeto actúa de grupo control (mediante un procedimiento denominado *Baseline*).

Este proyecto está vinculado a un Trabajo de Final de Máster, de la estudiante *Margarita Rodríguez*, dónde se evalúa la afectación de los parámetros del parpadeo en el uso de PVD, y a su vez relacionado con un estudio realizado por el doctorando *Marc Argilés*, sobre caracterización del parpadeo en usuarios de PVD.

Los exámenes preliminares para evaluar al paciente y decidir así su incorporación o exclusión del estudio fueron realizados en el gabinete de refracción de la Facultad de Óptica i Optometría de Terrassa, con los siguientes instrumentos (**Figura 4.1.**) y siguiendo un procedimiento pautado:

- Columna de Refracción (incluye foróptero, caja de pruebas y proyector).
- Varilla de Maddox
- Punto de fijación luminoso (linterna)
- Retinoscopio
- Reglas esquiásticas
- Barra de prismas



**Figura 4.1.** Instrumentos Optométricos

El procedimiento de los exámenes preliminares fue el siguiente (**Anexo 3**):

1. **Anamnesis** (Salud General, Ocular y Medicación del paciente).
2. **Agudeza Visual (AV)** de lejos y cerca (con corrección habitual).
3. **Refracción objetiva y subjetiva:** Refracción objetiva mediante retinoscopia y refracción subjetiva mediante el examen de visión (lejana y próxima) del paciente, subjetivamente.
4. **Punto Próximo de Convergencia (PPC):** Paciente apoyado en la mentonera con la corrección habitual y los dos ojos abiertos. Se apoya la barra reglada a la altura de su frente mediante una abertura en el foróptero. Ponemos un optotipo de (AV 0.8) a 40 cm del paciente y lo acercamos hasta que éste refiere diplopía (Rotura). Una vez tenemos ésta condición, alejamos hasta que el paciente consigue fusionar (Recuperación).

5. **Amplitud de acomodación (AA):** Se realiza de forma monocular y binocular.
  - **Monocular:** Paciente con un ojo ocluido con su refracción habitual en visión de lejos y en una posición cómoda. Optotipo de AV 0.8 a 40 cm. Añadimos lentes negativas hasta la borrosidad. Para obtener el resultado se le suma  $|2.50 D|$  al valor obtenido.
  - **Binocular:** Mismo procedimiento por con ambos ojos abiertos.
  
6. **Forias:** Con la corrección habitual lejana del paciente, colocamos delante de uno de los ojos la varilla de Maddox (en horizontal para la obtención de las forias horizontales y en vertical, en el caso contrario). Con ayuda de una pantalla reglada y una luz puntual situada en el centro de ésta, pedimos al paciente que nos indique dónde se sitúa la ralla respecto el punto.
  
7. **Reservas:** Colocamos el test de AV<sup>-1</sup> a 40 cm del paciente, con su refracción habitual en visión de lejos. Situamos una barra de prismas delante de uno de los ojos y vamos aumentando el valor de los primas en base nasal (BN) hasta que el paciente refiere diplopía. Una vez dada ésta condición, disminuimos el valor de los primas hasta que el paciente refiere fusión. Con ésta método, obtendremos los valores de ruptura y recuperación para BN. Repetimos el procedimiento para base temporal (BT).
  
8. **Cuestionario de Ojo Seco:** El cuestionario *Ocular Surface Disease Index* (**Figura 4.2.**), comúnmente denominado OSDI, es un cuestionario para la valoración del síndrome del ojo seco. En él se valora la prevalencia de los diversos síntomas de sequedad ocular mediante un cuestionario de 12 preguntas en las que el paciente tiene que responder sobre la sintomatología relacionada con ojo seco y experimentada durante la última semana. Según las respuestas determina la severidad del ojo seco y así, su clasificación. Se utilizó un punto de corte inferior a 15 puntos como indicativo de normalidad. El test fue presentado en formato para tableta.



**Figura 4.2.** Test OSDI presentado en formato para Tableta.

Una vez realizadas las pruebas preliminares y definidos los sujetos que pueden participar en el presente estudio, pasamos a evaluar los parámetros del parpadeo. Éstos, se evalúan en tres condiciones distintas y en orden aleatorio (para que la fatiga visual no afectara en las medidas):

1. *Baseline*.
2. Tableta (**Figura 4.3.**).
3. Tableta con incorporación de un filtro de absorbanza selectiva.



**Figura 4.3.** Lectura en la condición nº 2.

En las condiciones 2 y 3, el sujeto debía leer un fragmento en voz baja mientras que la primera condición, el *Baseline*, se realizó en absoluto silencio. En éste, el sujeto debía observar una figura de un paisaje colocado a la distancia de 2 metros (**Figura 4.4.**)



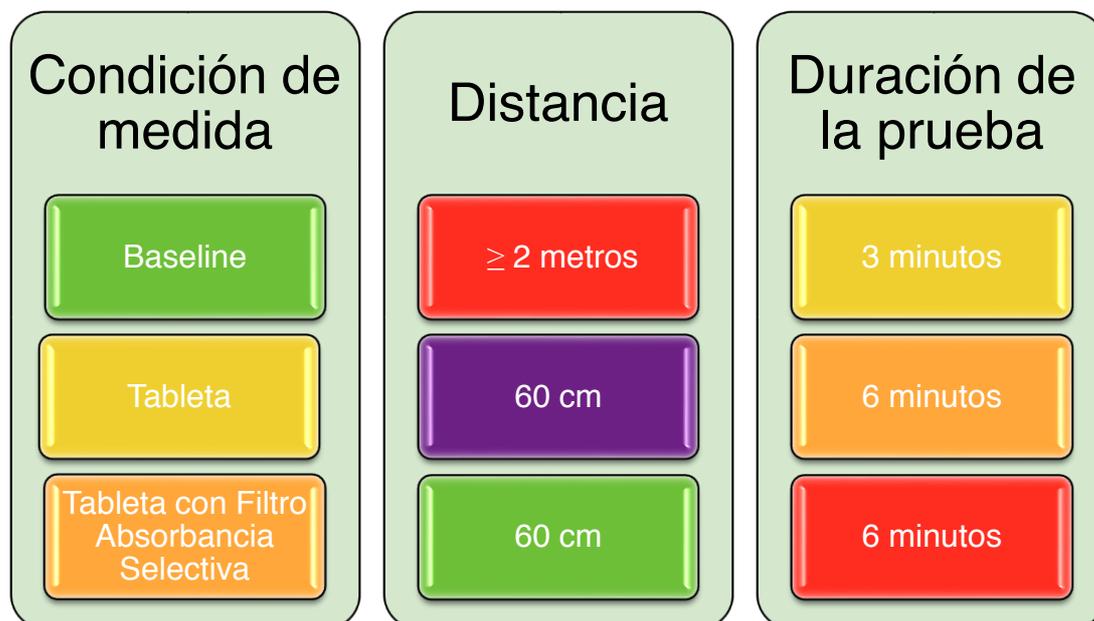
**Figura 4.4.** Imagen utilizada para la medida del *Baseline*.

Todas las pruebas se realizaron en una misma sala, y con los mismos dispositivos para todos los individuos que participaron en el estudio. Asimismo, se midió la iluminación ambiente, aproximadamente de 750 lx, y se determinó la luminancia de la tableta utilizada, correspondiente a 120 cd/m<sup>2</sup>.

En la tercera condición experimental se sitúa el filtro delante de la pantalla de la tableta, absorbiendo parte de las longitudes de onda cortas que ésta emite. El filtro utilizado fue el Reticare®, de nivel de protección alto, patente PCT/ES2013/070222. Las características de transmitancia del filtro se investigaron en condiciones controladas mediante un espectroradiómetro Spectrascan 715, en el laboratorio del Grupo de Investigación de Óptica Aplicada y Procesamiento de Imagen (GOAPI).

El espectro-radiómetro utilizado proporciona el espectro de transmisión de una muestra en el espectro visible y en el IR, pero no permite medidas en el rango del UV. Es por ello que en este estudio nos centraremos en la valoración de este filtro respecto a la zona visible del espectro de radiación.

Se establecieron, además, unas distancias de lectura y un tiempo de medición determinados, como se muestra en la **Tabla 4.1.**:



**Tabla 4.1.** Condiciones de fijación y lectura establecidas en el estudio.

El libro de lectura utilizado en todos los casos fue: “*El perquè de tot plegat*” de QuimMonzó y su versión en castellano, “*El porqué de las cosas*”. Cada paciente, según su predominancia lingüística y comodidad, escogía el idioma.

Se indicó a los pacientes que, una vez terminada cada condición, indicaran la palabra en la cual su lectura había finalizado. En la siguiente condición, pues, seguían su lectura a partir de esa palabra.

Para cada una de tres condiciones evaluadas se capturaron videos de la cara de los sujetos con el fin de analizarlos posteriormente y evaluar los parámetros de parpadeo. Las cámaras utilizadas para este propósito fueron:

- Videocámara Canon Legria HF M307 de 3.3 Mpixels, 1920x1080 con 15xOptical Zoom
- Webcam Microsoft LifeCam HD-3000

Mediante el análisis *frame a frame* de las grabaciones obtenidas en cada condición, se determinan los valores de los parámetros a evaluar. Para ello nos servimos del programa Blinkcounter, desarrollado específicamente para el presente estudio y los estudios asociados comentados anteriormente (<http://www.blinkcounter.oo.upc.edu/>) (**Figura 4.5.**). Este programa se ejecutaba a la vez que se visualizaba cada uno de los videos. El programa permite fragmentos de video de 1 minuto, por lo que se evaluó de minuto 2 al 3 en la condición *Baseline* y del 2 al 6 (promediando a continuación) en el resto de condiciones. Los parámetros que nos permite medir el programa son:

- **Frecuencia de Parpadeo:** Es el nombre total de parpadeos por minuto, entendiendo como tales los parpadeos completos e incompletos.
- **Porcentaje de parpadeos Incompletos:** Se considera un parpadeo incompleto aquél en el que el párpado cubre menos que el 2/3 de la superficie corneal.
- **Regularidad de Parpadeo:** Para la obtención de los valores de regularidad de parpadeo se establece una escala de 1 a 4, dónde 1 se refiere a una regularidad muy baja, mientras que un valor de 4 se relaciona con una regularidad elevada. Para dar un valor superior a 1, se estableció que debía existir un mínimo de 3 parpadeos por minuto. La regularidad se determinó de forma subjetiva observando la uniformidad (o falta de la misma) de los intervalos entre dos parpadeos consecutivos.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Caracterización del filtro Reticare ®



Figura 5.1. Fotografía montaje del espectroradiómetro

La **figura 5.2.** muestra el espectro de emisión en el rango del visible medido a través de la tableta utilizada para el estudio, con y sin filtro Reticare. Vemos que, efectivamente, esta tableta iluminada con tecnología LED tiene un pico de emisión centrado en la zona azul del espectro, concretamente en 460 nm. El resto del espectro medido corresponde a los emisores que utilizan 3 LED de color rojo, verde y azul, para generar el color blanco y toda la gama de colores utilizada en estos dispositivos.

De esta misma figura también podemos remarcar que la utilización del filtro Reticare disminuye la radiación emitida por la pantalla, sobretodo en mayor proporción en la zona de longitudes de onda cortas. Vemos, sin embargo, que el porcentaje de absorción del filtro, que corresponde según indicaciones comerciales al nivel Alto de protección, está por debajo del 30%.

El cociente entre ambas curvas espectrales, mostradas en la **figura 5.2.**, nos permite estimar la transmitancia del filtro Reticare empleado en la **figura 5.3.** En esta gráfica vemos que el filtro Reticare de nivel Alto transmite alrededor de un 70% de radiación azul del espectro visible, mientras que este valor se sitúa en el 90% en el caso del resto de radiación visible.

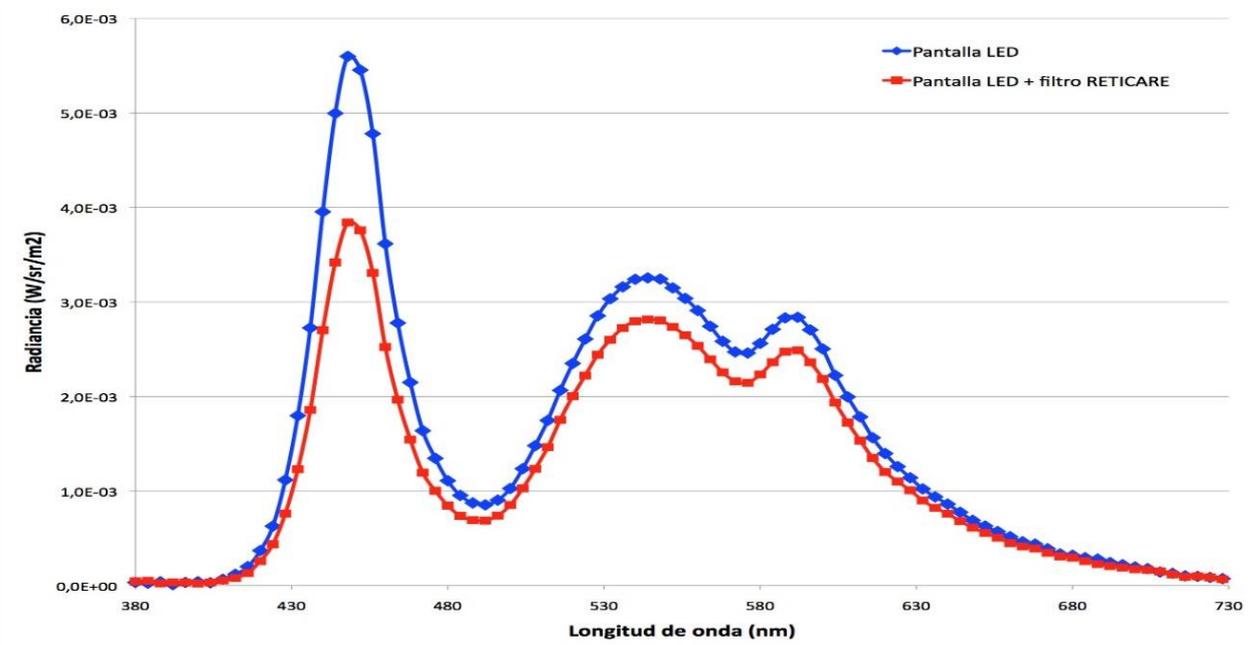


Figura 5.2. Espectro de emisió en el rang del visible mesurat a través de la Tableta utilitzada en l'estudi.

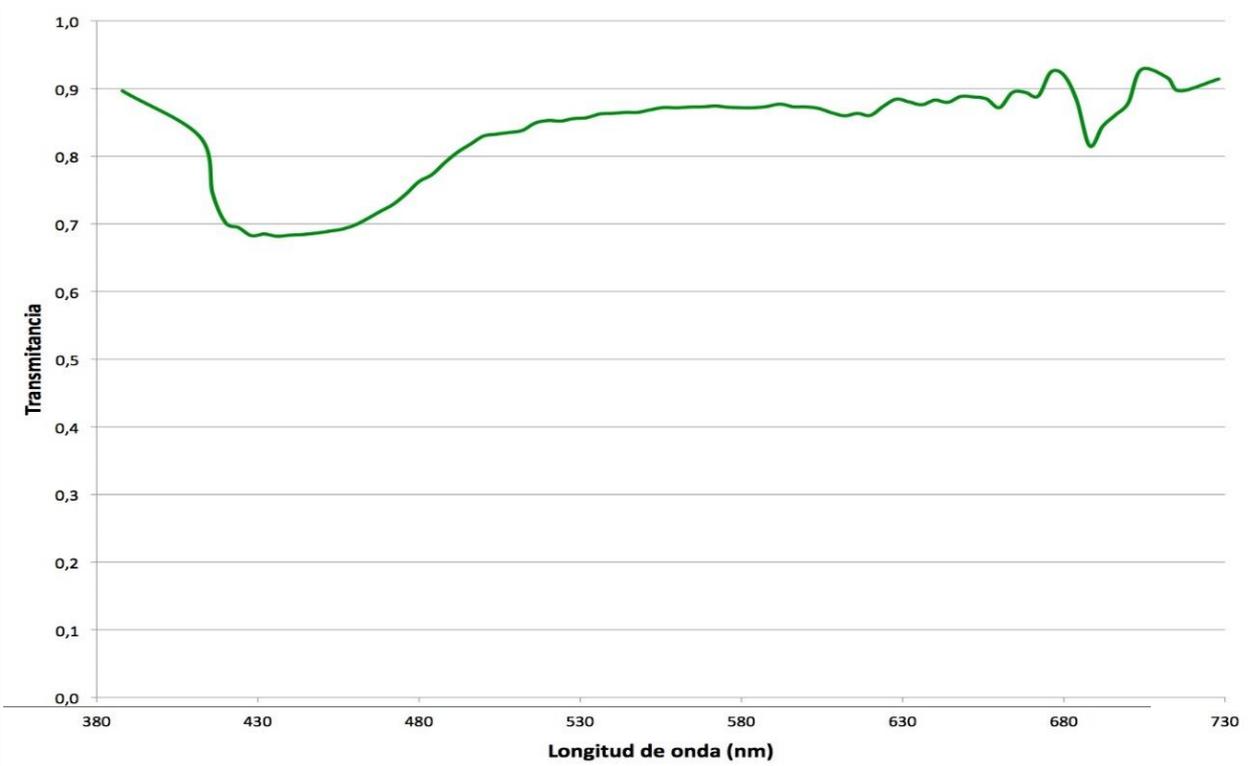


Figura 5.3. Transmissió del filtre Reticare.

## 5.2. Análisis Demográfico

A continuación, se presenta una breve descripción de la muestra del estudio. Tras aplicar los criterios de exclusión comentados en el apartado 4.2., la muestra final evaluada en el presente estudio estuvo compuesta por 29 sujetos, de edades comprendidas entre los 18 y los 29 años, con una edad media de 22 años y una desviación estándar (SD) de 2.5 años. De éstos, 19 son de sexo femenino (65.5%) con edad media de  $22.3 \pm 1.6$  (19-26), y 10 son de sexo masculino (34.5%) con edad media de  $23.6 \pm 3.7$  (18-29). En la **figura 5.4.** se muestra la distribución de la muestra por rango de edad.

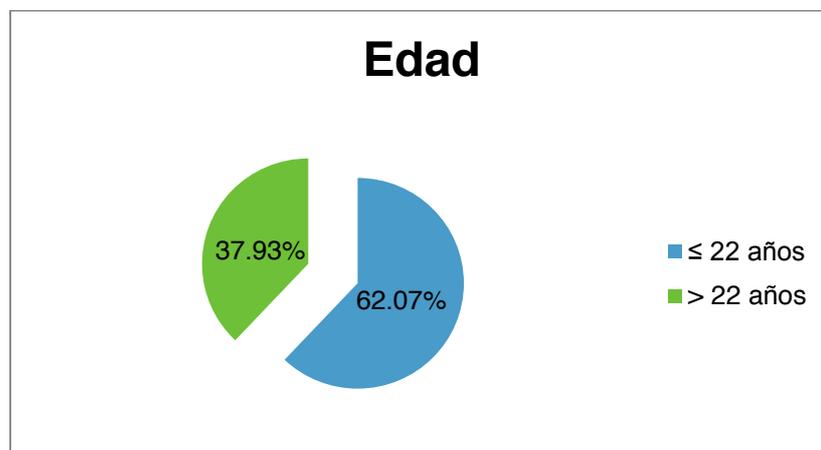


Figura 5.4. Distribución por edad de la muestra de estudio.

En la **figura 5.5.** se muestra la distribución de la muestra de estudio por sexo.

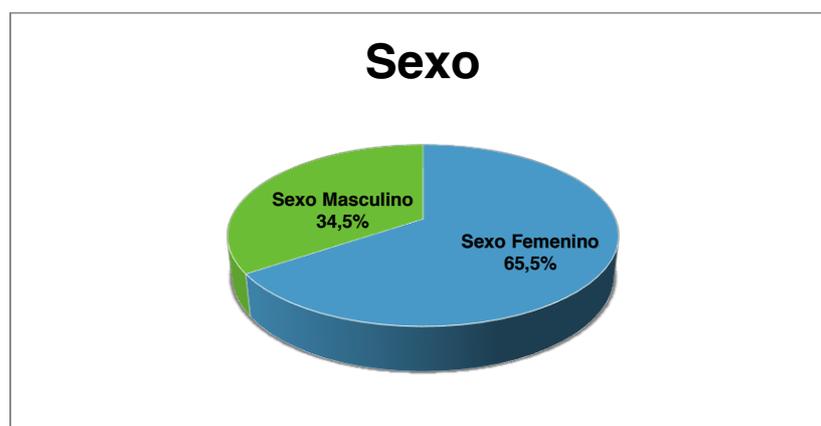


Figura 5.5. Distribución por sexo de la muestra de estudio.

### 5.3. Parpadeo en función de la condición experimental

En este apartado se presenta un resumen del análisis estadístico de los distintos parámetros evaluados con el parpadeo: Frecuencia de parpadeo, presentada en parpadeos por minuto (p/min), porcentaje (en %) de parpadeos incompletos y regularidad de parpadeo (1-4, siendo 4 un valor de máxima regularidad). Los resultados se muestran en la **tabla 5.1.** y se representan como mediana (mínimo y máximo) para cada una de las tres condiciones experimentales evaluadas.

	<i>Baseline</i> (Mirada en silencio)	Tableta sin Filtro	Tableta con Filtro
	Mediana (mín-máx)	Mediana (mín-máx)	Mediana (mín-máx)
<b>Frecuencia de Parpadeo</b>	14 (1-38)	6.00 (0-42)	6.00 (0-36)
<b>Regularidad de Parpadeo</b>	2.00 (1-4)	2.00 (1-4)	2.00 (1-4)
<b>Parpadeos Incompletos</b>	9.1 (0-54.2)	16.7 (0-100)	9.1 (0-50)

**Tabla 5.1.** Parámetros del parpadeo en función de la condición experimental.

En referencia a la frecuencia de parpadeo, se observa que las condiciones de lectura conllevan a una disminución de la frecuencia de parpadeo (en tableta, con o sin filtro), en relación a la condición *Baseline*. Esta disminución se puede asociar al aumento de carga cognitiva de la tarea realizada que, según estudios previos, se relaciona con una inhibición central del parpadeo espontáneo, relacionada con aspectos atencionales. Sin embargo, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre la condición tableta con y sin filtro ( $p=0.371$ ).

Si observamos los resultados de parpadeos incompletos, vemos que existe una gran variación en su porcentaje atendiendo a los valores mínimos y máximos obtenidos, si bien la mediana nos indica que la mitad de los participantes tienen un porcentaje por debajo del 10-15% de parpadeos incompletos en todas las tareas evaluadas. No se hallaron diferencias significativas en este parámetro.

Finalmente, en cuanto a la regularidad del parpadeo, los valores son muy similares en todos los casos y solamente se hallaron diferencias estadísticas entre *Baseline* y Tableta + Filtro ( $p<0.01$ ).

Para examinar las diferencias en cada uno de los parámetros de parpadeo entre las 3 condiciones experimentales en su conjunto se empleó el test de Friedman, que reveló una diferencia estadísticamente significativa sólo en la frecuencia de parpadeo (**Tabla 5.2.**).

	Frecuencia de Parpadeo		Regularidad de Parpadeo		Parpadeos Incompletos	
	$\chi^2$	$\rho$	$\chi^2$	$\rho$	$\chi^2$	$\rho$
<i>Test de Friedman</i>	<b>15.982</b>	<b>P &lt; 0.001</b>	<b>4.780</b>	<b>0.092 **</b>	<b>2.660</b>	<b>0.264</b>

**Tabla 5.2.** Análisis estadístico (test de Friedman) de los parámetros del parpadeo en las tres condiciones experimentales.

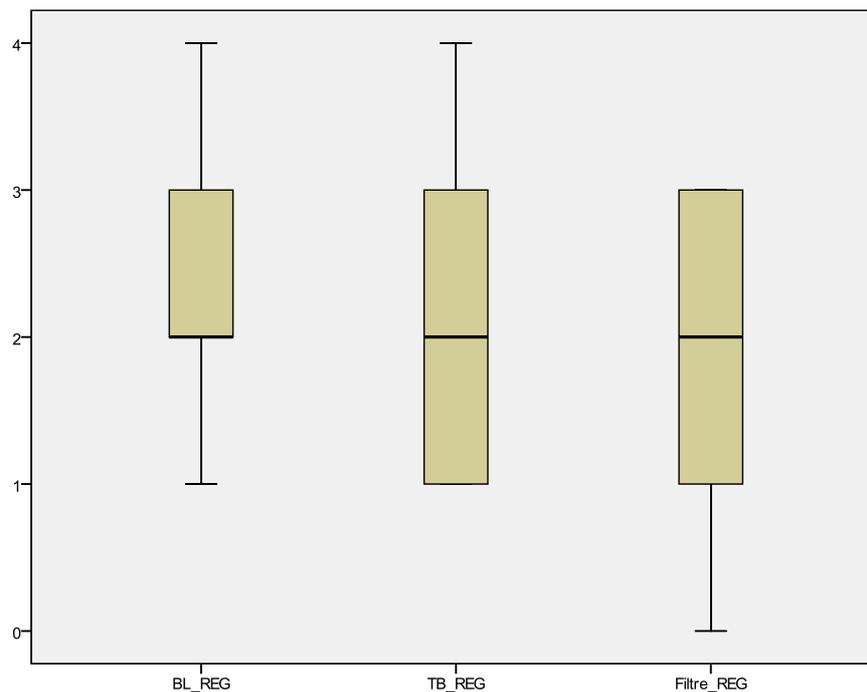
A la vista de estos resultados, en los que encontramos diferencias estadísticamente significativas entre las tres condiciones experimentales en frecuencia de parpadeo, debemos examinar las distintas configuraciones a pares para determinar cuáles son los pares que dan origen a las diferencias estadísticas.

Este análisis post-hoc lo realizamos con el test de Wilcoxon para grupos pareados, presentando los resultados en las tablas sucesivas para regularidad de parpadeo (**Tabla 5.3**) y frecuencia en el parpadeo (**Tabla 5.4**). En el caso de la Regularidad de Parpadeo, aunque la significación estadística no es inferior a 0.05, el valor obtenido se sitúa cerca de este límite. Por tanto, realizaremos el análisis Wilcoxon igualmente (comparando las condiciones experimentales entre sí). Al realizar-lo, extraemos una diferencia significativa entre la condición de Tableta con Filtro y el Baseline (mirada en posición primaria, a lejos y en silencio).

Además, para poder observar con mayor facilidad las diferencias entre las tres condiciones experimentales valoradas, se exponen las figuras **5.6. y 5.7.** Estas figuras se encuentran en formato Boxplot, en el que la línea central indica el valor de la mediana, los extremos de las cajas son el cuartil 25% y 75% y los extremos de las barras corresponden al máximo y mínimo. En algunos casos se muestran valores muy alejados de los valores del resto del grupo (*outliers*).

<i>Regularidad de Parpadeo</i>	<i>Tableta</i>		<i>Tableta + Filtro</i>	
	<i>Z</i>	<i>ρ</i>	<i>Z</i>	<i>ρ</i>
<i>Baseline</i>	<b>-1.597</b>	<b>0.110</b>	<b>-2.250</b>	<b>0.024</b>
<i>Tableta</i>			<b>-1.201</b>	<b>0.230</b>
<i>Tableta + Filtro</i>				

**Tabla 5.3.** Comparación de la regularidad a pares con el test de Wilcoxon (se muestra el valor Z y su  $p$ ).



**Figura 5.6.** Regularidad de parpadeo en función de la condición experimental.

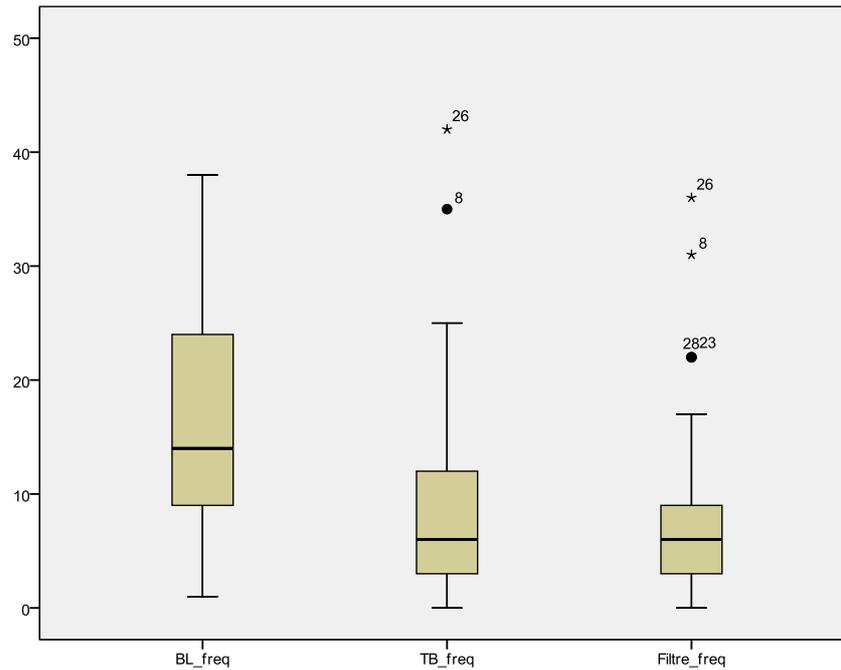
Debe mencionarse que la regularidad del parpadeo la valoramos subjetivamente, siendo 1 un parpadeo muy irregular y 4 un parpadeo muy regular. A la vista de los resultados, en los que se hallan pocas diferencias estadísticamente significativas en este parámetro, podemos sospechar que tal vez el método empleado para la valoración de la regularidad no era suficientemente sensible para detectar pequeños cambios en la misma. Serán necesarios futuros estudios para evaluar más detenidamente este aspecto. Las diferencias halladas entre *Baseline* y la condición de tableta con incorporación de filtro, sin embargo, son interesantes, dado que no aparecen entre la condición *Baseline* y la Tableta sin filtro.

De alguna manera la incorporació del filtre repercute en una alteració de la regularitat del parpadeo. De confirmarse este hallazgo con una medida más precisa de la regularidad sería necesario explorar las causas subyacentes a la misma.

<i>Frecuencia de Parpadeo</i>	<i>Tableta</i>		<i>Tableta + Filtro</i>	
	<i>Z</i>	<i>ρ</i>	<i>Z</i>	<i>ρ</i>
<i>Baseline</i>	<b>-3.019</b>	<b><math>\rho &lt; 0.001</math></b>	<b>-3.595</b>	<b><math>\rho &lt; 0.001</math></b>
<i>Tableta</i>			<b>-0.894</b>	<b>0.371</b>
<i>Tableta + Filtro</i>				

**Tabla 5.4.** Comparación de la frecuencia de Parpadeo a pares con el test de Wilcoxon (se muestra el valor Z y su p).

En el caso de la comparación de las diferentes condiciones experimentales con la frecuencia de parpadeo, las principales diferencias aparecen entre la posición primaria y todas las otras configuraciones de lectura. Estas diferencias se evidencian en la **Figura 5.7.**, y concuerdan con los resultados esperados, es decir, que las condiciones de lectura, al consistir en una situación de alta carga cognitiva, conllevarían a una disminución de la frecuencia de parpadeo (Nakatani et al, 2011). Por ello, en tableta (con o sin filtro), se conlleva a una disminución de la frecuencia de parpadeo. El hecho de incorporar un filtro delante de la tableta no supone una alteración significativa de la alteración del parpadeo ocasionada por la tarea de lectura.



**Figura 5.7.** Frecuencia de parpadeo en función de la condición experimental (los puntos negros corresponden a *outliers*).

#### 5.4. Recuento de palabras leídas

Otro de los factores evaluados en el presente estudio, y con la finalidad de valorar el nivel de fatiga visual asociado a un soporte de lectura (Tableta) y a un filtro añadido en esta (Tableta + Filtro), fue el número de palabras leídas en cada uno de los bloques de 6 minutos, obteniendo valores de  $1469,83 \pm 60,560$  para el caso de la Tableta con el filtro incorporado, y de  $1456,45 \pm 60,020$ . Realizamos el análisis con el test de Wilcoxon para grupos pareados (comparando las palabras leídas en la condición de Tableta con las mismas añadiendo un filtro de absorbanza selectiva), presentando los resultados en la **Tabla 5.5**.

<i>Test Wilcoxon</i>	<b>Palabras leídas Tableta</b>	
	<i>z</i>	<i>p</i>
<b><i>Palabras leídas Tableta con Filtro</i></b>	<b>-1.027</b>	<b>0.304</b>

**Tabla 5.5.** Comparación de las palabras leídas con Filtro y sin él, con el valor de *z* y *p*.

Con ello, podemos concluir que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los dos valores. Sería necesario un estudio más ambicioso, en el que se estudiara la fatiga visual durante un período más prolongado de tiempo, para recabar conclusiones firmes referentes a la utilidad del filtro para reducir la fatiga en usuarios de pantallas de visualización de datos, tal y como se apunta comercialmente.

### 5.5. Estudio de la influencia del género y OSDI sobre el parpadeo

En cuanto a los valores de OSDI, encontramos una diferencia significativa entre los valores de OSDI según el género ( $p=0.030$ ), con valores en hombres de media 5.80 y de 11.89 en mujeres. Por tanto, vemos que las mujeres doblan el valor del OSDI respecto el presentado en hombres. Recordemos que, en todo caso, el punto de corte para definir ojo seco se encontraba en un OSDI de 15, por lo que en ambos grupos, no se alcanza este valor. Estas diferencias pueden ir asociadas a factores de tipo hormonal (Sharma, Hindman, 2014).

Dada la documentada asociación entre sequedad ocular y aumento de la frecuencia del parpadeo (como consecuencia del mayor peso relativo del parpadeo reflejo), estas diferencias pueden estar asociadas a diferencias de frecuencia, regularidad o parpadeo incompleto, entre hombres y mujeres. Los resultados del análisis correspondiente mediante el test de Mann-Whitney ponen en evidencia diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres en la frecuencia de parpadeo en condiciones *Baseline* (mayor frecuencia en mujeres – **Tabla 5.6.**). Estas diferencias se pierden en el momento de la lectura, posiblemente debido a la supresión por efecto cognitivo de parte del parpadeo reflejo que vendría asociado a la mayor sequedad ocular.

Condición experimental	Frecuencia parpadeo Hombres (p/min)	Frecuencia de Parpadeo Mujeres (p/min)	$\rho$
Mirada en silencio	8.50 (3-26)	20 (1-38)	0.011
Tableta	4.50 (2-24)	6.00 (0-42)	0.357
Tableta + Filtro	5.00 (2-13)	7 (0.36)	0.205

**Tabla 5.6.** Frecuencia de parpadeo en hombres y mujeres (se muestra la mediana (mínimo y máximo)).

Según nuestra investigación de la literatura, no existen estudios bibliográficos previos que muestren esta diferencia de parpadeo entre ambos sexos. Los resultados, por tanto, deben ser estudiados con mayor profundidad.

## 6. CONCLUSIONES

El estudio realizado en este proyecto ha comparado la frecuencia, la amplitud y la regularidad del parpadeo en el proceso de lectura de un texto mediante el uso de una tableta, con y sin la incorporación de un filtro de absorbanza selectiva de la longitud de onda azul. Los resultados se han comparado con los mismos parámetros de parpadeo obtenidos para los mismos sujetos cuando estos observaban una imagen en posición primaria de mirada.

De los resultados obtenidos se reveló la existencia de una única diferencia estadísticamente significativa entre las tres condiciones evaluadas. Esta diferencia la encontramos en la frecuencia de parpadeo en comparación de la lectura en tableta con la condición *baseline*. Los parámetros de regularidad y amplitud, en cambio, no muestran variaciones significativas. En ningún caso se aprecian diferencias en los parámetros que describen el parpadeo cuando se compara la lectura en una tableta sin filtro y la lectura con el filtro Reticare.

Para la obtención de los resultados se ha escogido el minuto 3 del total de 6 minutos de grabación realizada. Posiblemente las conclusiones extraídas para este minuto no son suficientemente sensibles para determinar el efecto de los filtros en la fatiga visual de los participantes. Además, se ha realizado un procedimiento totalmente manual de visualización de un minuto de los videos registrados en cada experiencia para determinar los parámetros del parpadeo. Durante la realización del trabajo ya se apreciaron las limitaciones de la determinación subjetiva de la regularidad del parpadeo, por lo que se trabajó en la consecución de un aplicativo que permitiera la obtención de este parámetro con una apreciación más clara. De todos modos, los resultados obtenidos ponen de manifiesto la necesidad de obtener un método objetivo de evaluación tanto de la frecuencia, amplitud y regularidad del parpadeo. De esta manera será posible evaluar periodos de tiempo de lectura más largos, donde la fatiga visual se pueda poner de manifiesto de manera más evidente. Un estudio más extenso, podría indicar de forma más clara si la función del filtro de absorbanza selectiva puede tener un efecto en la fatiga visual, y por extensión también en las características del parpadeo.

Asimismo cabe destacar que, siendo éste un estudio realizado sobre una muestra (n=29) de individuos de un rango de edad comprendido entre 18 y 29 años, nuestra conclusión está acotada a estas edades y no refleja la muestra de la población en su totalidad.

Finalmente observamos también que actualmente no se hallan en la literatura demasiados estudios en relación a los efectos en el sistema visual de los filtros de absorbanza selectiva, en parte por su reciente aparición. Por este motivo entendemos que es importante que la investigación en torno a estas protecciones visuales siga adelante para poder definir una relación causa-efecto con resultados estadísticamente significativos.

## **7. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y TRABAJOS FUTUROS**

Tal y como se ha comentado durante el proyecto, el estudio realizado no se corresponde con una representación exacta de la población, pues hemos restringido las variables en función a las limitaciones experimentales (la muestra ha sido acotada a edades comprendidas entre los 18 y los 29 años y han sido más abundantes los individuos de sexo femenino (65% frente a un 34% de sexo masculino)).

Debido a este acotamiento, y teniendo en cuenta la existencia de numerosos tipos de dispositivos de lectura (Tabletas) y la comercialización de distintos filtros de absorbanza selectiva, sería fundamental la realización de posteriores estudios experimentales, para poder detallar más minuciosamente (utilización de diferentes tabletas y filtros, extensión, en tiempo de las pruebas realizadas, etc.) su repercusión en los parámetros estudiados.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Acosta MC, Gallar J, Belmonte C (1999) The influence of eye solutions on blinking and ocular comfort at rest and during work at video display terminals. *Exp Eye Res* 68:663-669
- Artigas, J.M. (2013); *Óptica Oftálmica II. Gaceta Optométrica* (2013).
- Bentivoglio AR, Bressman SB, Cassetta E, Caretta D, Tonali P, Albanese A (1997) Analysis of blink rate patterns in normal subjects. *MovDisord* 12:1028-1034
- Blehm C, Vishnu S, Khattak A, Mitra S, Yee RW (2005) Computer vision syndrome: a review. *SurvOphthalmol* 50 (3).
- Chang, A-M, Aeschbach, D., Duffy, J.F., Czeisler, C.A.; Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness, 2014.
- Cho P, Sheng C, Chan C, Lee R, Tam J (2000) Baseline blink rates and the effect of visual task difficulty and position of gaze. *Curr Eye Res* 20:64-70
- Chu C, Rosenfield M, Portello JK. (2014) Blink Patterns: Reading from a Computer Screen versus Hard Copy. *Optom Vis Sci* 91: 297-302
- Corbella, J.; *La Vanguardia* (2014). Las tabletas perturban el sueño.
- Doughty MJ (2001) Consideration of three types of spontaneous eyeblink activity in normal humans: during reading and video display terminal use, in primary gaze, and while in conversation. *Optom Vis Sci* 78:712-725
- Figueiro M and Overington, D. (2015) Self luminous devices and melatonin suppression in adolescents. Polytechnic Institute, USA.
- Freudenthaler N, Neuf H, Kadner G, Schlote T (2003) Characteristics of spontaneous eyeblink activity during video display terminal use in healthy volunteers. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 241:914-920
- García M.A, Salinas E (2013) Degeneración macular asociada a la edad (DMAE). *Guía Clínica Optométrica a partir de estudios basados en la evidencia. Gaceta de Optometría y Optica Oftálmica* 487: 24-30
- Gartner (2013) Top 10 Strategic Predictions for 2015 and Beyond: Digital Business is Driving “Big Change”. G00269904.
- Ji Q, Zhu Z, Lan P (2004) Real- Time Nonintrusive Monitoring and Prediction of Driver Fatigue. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 53(4):1052-1068

- Kanski JJ (2005) *Oftalmología Clínica*. Elsevier, Madrid
- Lucas RJ, Douglas RH, and Foster RG (2001). Characterization of an ocular photopigment capable of driving papillary constriction in mice. *Nature Neuroscience* 621-626 (4).
- Lucas RJ, Hattar S, Takao M, Berson DM, Foster RG, and Yau KW (2003). Diminished pupillary light reflex at high irradiances in melanopsin-knock out mice. *Science* 245-247 (299).
- Miniwatts Marketing Group (2014). Internet Usage statistics. The internet Big Picture. World Internet Users and 2014 Population Stats. <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>.
- Monster AW, Chan HC, O'Connor D (1978) Long-term trends in human eye blink rate. *Biotelemetry and Patient Monitoring* 5:206-222
- Panda S, Provencio I, Tu DC, Pires SS, Rollag MD, Castrucci AM, Pletcher MT, Sato TK, Wiltshire T, Andahazy M, Kay SA, Van Gelder RN, Hogenesch JB (2003). Melanopsin is required for non-image-forming photic responses in blind mice. *Science*, 525-527 (301).
- Perez J., Lane R. (2009) Las células con melanopsina: Nuevos fotoreceptores en la retina de los vertebrados. *REB* 28(1): 9-18.
- Urtubia C (2004) *Fisiología de la Retina (I)*. El mensaje visual en la primera sinapsis. Ver y Oír, Junio: 288-295
- Rideout VJ, Foehr UG, Roberts DF (2010) *Generation M2. Media in the Lives of 8- to 18-Year Olds*. A Kaiser Family Foundation Study. The Henry J.Kaiser Family Foundation: Menlo Park, CA.
- Sanchez R, C. *Filtros Ópticos contra el efecto fototóxico del espectro visible en la retina*. Madrid, 2010. II Tesis Doctoral.
- Schlote T, Kadner G, Freudenthaler N. (2004). Marked reduction and distinct patterns of eye blinking in patients with moderately dry eyes during video display terminal use. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 242(2): 306-312
- Sharma A, Hindman HB. Aging: a predisposition to dry eyes. *J Ophthalmol*. (2014): doi: 10.1155/2014/781683
- Sibony PA, Evinger C (1998) Anatomy and physiology of normal and abnormal eyelid position and movement. In: Miller NR, Newman NJ (eds) *Walsh & Hoyt's clinical neuroophthalmology*. Williams & Wilkins, Baltimore, pp 1509-1592
- Sun WS, Baker RS, Chuke JC, Rouholiman BR, Hasan SA, et al. (1997) Age-related changes in human blinks. Passive and active changes in eyelid kinematics. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 38:92-99
- Tresguerres JAF (1998). *Fisiología Humana 2ª Ed*. Madrid: Interamericana.

- Tsubota K (1998) Tear dynamics and dry eye. *Prog Retin Eye Res* 17:565-596
- Van der Lely S, Frey S, Garbazza C, et al (2015). Blue blocker glasses as a countermeasure for alerting effects of evening light-emitting diode screen exposure in male teenagers. *J Adolesc Health* 56: 113-119
- Velez E, Schiefelbein E, Valenzuela J (1994). Factores que afectan al rendimiento académico en la educación primaria. Revisión de la literatura de América Latina y el Caribe. *Revista latinoamericana de innovaciones educativas* 17: 29-53
- Wolkoff P, Skov P, Franck C, Pedersen LN (2003) Eye irritation and environmental factors in the office environment. Hypotheses, causes, and a physiological model. *Scand J Work Environ Health* 29:411-430
- Wong H, Fatt I, Radke CJ (1996) Deposition and thinning of the human tear film. *J Colloid Interface Sci* 184:44-51
- Wood B, Rea MS, Plitnick B, Figueiro MG (2013). Light Level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression. *Appl Ergon* 44: 237-240.
- Zaidi FH, Hull JT, Peirson SN, et al (2007) Short-wavelength light sensitivity of circadian, pupillary, and visual awareness in humans lacking an outer retina. *Curr Biol* 17:2122-2128
- Zametkin AJ, Stevens JR, Pittman R (1979) Ontogeny of spontaneous blinking and of habituation of the blink reflex. *Ann Neurol* 5:453-457.

## ANEXOS

### Anexo 1: Captación de Participantes.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa

A la Facultat d'Òptica i d'Optometria de Terrassa (FOOT) s'està realitzant un estudi sobre l'afectació de l'ull vermell en diferents situacions de lectura (llibre, pantalles, etc)

### Condicions de l'estudi

Si es decideix a participar, li demanarem que ompli un qüestionari (el qual determinarà si podem incloure'l a l'estudi) i li realitzarem un examen visual complet (li facilitarem la informació obtinguda). El temps de realització de l'estudi és de una **hora i mitja** aproximadament amb un descans, i es farà els dimecres i divendres al matí.

L'estudi, que s'engloba dins d'un **Treball Final de Grau** dirigit pel professor Genís Cardona, no suposa cap mena de risc ni complicació i senzillament es demanarà als participants que llegeixin un text (uns contes) en diferents condicions i diferents suports (paper i electrònic).

Qualsevol interessat que vulgui participar-hi enviar un e-mail amb el nom, l'edat i el telèfon o mail de contacte a:

Xxxx

**Entre tots els participants es sortejarà un lot de llibres!!**

**Anexo 2:** Consentimiento Informado.



## Carta de consentiment informat

Jo,..... amb  
DNI....., dono el meu consentiment a que  
m'inclogui dins l'estudi per fer unes tasques emprant un ordinador, una tableta, un  
llibre i la realització d'un examen visual.

Les tasques serien llegir un text en varies condicions de mirada, a l'ordinador, en la  
tableta i en un llibre.

Després s'hauria de realitzar un examen visual de 10 minuts.

El temps total seria aproximadament d'una hora, i es gravaria tot el procés mitjan-  
çant una càmera web, enfocada als ulls.

En tot cas, segons el que estableix l'article 7.6 de la Llei Orgànica de Protecció de  
Dades de Caràcter Personal, Llei 15/1999 de 13 de Desembre, l'informem que el  
tractament de les dades personals per part de la Facultat d'Òptica i Optometria de  
Terrassa serà específicament amb finalitat sanitària i de recerca. En tot moment es  
respectarà l'anonimat de les dades.

Restem a la vostra disposició per resoldre qualsevol dubte que els pugi sorgir rela-  
cionat amb aquest estudi.

Signatura de consentiment,

**Anexo 3:** Procedimiento para los Exámenes Visuales.

PROTOCOLO DE MEDIDAS OPTOMÉTRICAS			
			FECHA
NOMBRE			
EDAD		SEXO	
SALUD GENERAL			
MEDICACIÓN			
		AV VL	AV VP
REFRACCIÓN HABITUAL	OD		
	OS		
		AV VL	AV VP
SUBJETIVO	OD		
	OS		
PPC	ROTURA		RECUP
AA	OD		
	OS		BINO
FORIAS (CERCA) HORIZONTAL			
FORIAS (CERCA) VERTICAL			
		ROTU/RECU	ROTU/RECU
RESERVAS (CERCA)	BT	BN	
CUESTIONARIO OJO SECO (OSDI)			
CONDICIÓN	TÍTULO	PALABRAS	Nº P LEÍDAS

