



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

Mesura de la transmissió espectral de les diverses lents que es comercialitzen amb filtres de llum blava pels usuaris de dispositius digitals.

Cristina Fernández Valls

Codirectors: Genís Cardona Torradeflot i Elisabet Pérez Cabré
Departament: Òptica i Optometria

28 de gener del 2016



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

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

CERTIFIQUEN

Que el Sra. Cristina Fernández i Valls ha realitzat sota la seva supervisió el treball "Mesura de la transmitància espectral de les diverses lents que es comercialitzen amb filtres de llum blava pels usuaris de dispositius digitals" 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 Torradeflot
Codirector del treball

Sra. Elisabet Pérez Cabré
Codirectora del treball

Terrassa, 13 de gener del 2016



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

Mesura de la transmissió espectral de les diverses lents que es comercialitzen amb filtres de llum blava pels usuaris de dispositius digitals.

RESUM

En la societat actual, cada vegada és més freqüent l'ús de dispositius digitals, tals com les tauletes, els ordinadors o els mòbils. Les pantalles d'aquests aparells sovint presenten una il·luminació pròpia (retro-il·luminació) formada per una matriu de LEDs. Amb la millora de la tecnologia LED, s'han aconseguit sistemes d'il·luminació amb millor rendiment, que reproduïxen una àmplia gamma de colors, amb bon contrast, i permetent pantalles més primes. No obstant, els LEDs blancs tenen un pic d'emissió en la zona blava de l'espectre visible que, segons alguns estudis, podria ser perjudicial per la salut visual i ocular dels usuaris.

Recentment, s'estan realitzant molts estudis sobre la possible influència negativa de la llum blava/violeta en el sistema visual humà i en el ritme circadiari (cicle de vetlla i son). Aquest fet ha donat peu a l'aparició en el mercat de vidres oftàlmics innovadors que incorporen uns filtres específics per absorbir part de la component blava de l'espectre. Aquestes lents van adreçades especialment a usuaris exposats moltes hores del dia a dispositius digitals.

En el present treball, s'han mesurat, amb un espectroradiòmetre, les radiàncies espectrals de diverses mostres de lents amb filtre blau, interposant-les a una tauleta amb retro-il·luminació LED. Per comparació amb la radiància espectral de la tauleta, s'ha mesurat el grau d'absorció de lents procedents de 4 fabricants diferents. S'ha determinat que el percentatge de filtratge de la llum blava varia molt segons el fabricant, i que és necessari establir el llindar d'absorció recomanat en funció dels efectes negatius que determinin les investigacions actuals.



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

Medida de la transmitancia espectral de las diversas lentes que se comercializan con filtros de luz azul para los usuarios de dispositivos digitales.

RESUMEN

En la sociedad actual, cada vez es más frecuente el uso de dispositivos digitales, tales como las tabletas, los ordenadores o los móviles. Las pantallas de estos aparatos a menudo presentan una iluminación propia (retroiluminación) formada por una matriz de LEDs. Con la mejora de la tecnología LED, se han conseguido sistemas de iluminación con mejor rendimiento, que reproducen una amplia gama de colores, con buen contraste i permitiendo pantallas más delgadas. No obstante, los LEDs blancos tienen un pico de emisión en la zona azul del espectro visible que, según algunos estudios, podría ser perjudicial para la salud visual y ocular de los usuarios.

Recientemente, se están realizando muchos estudios sobre la posible influencia negativa de la luz azul/violeta en el sistema visual humano y en el ritmo circadiano (ciclo de vigilia y sueño). Este hecho ha dado pie a la aparición en el mercado de lentes oftálmicas innovadoras que incorporan unos filtros específicos para absorber parte de la componente azul del espectro. Estas lentes van dirigidas especialmente a usuarios expuestos muchas horas del día a dispositivos digitales.

En el presente trabajo, se han medido, con un espectroradiómetro, las radiancias espectrales de diferentes muestras de lentes con filtro azul, situándolas frente a una tableta con retro-iluminación LED. Por comparación con la radiancia espectral de la tableta, se ha medido el grado de absorción de lentes procedentes de 4 fabricantes diferentes. Se ha determinado que el porcentaje de filtraje de la luz azul varía mucho según el fabricante, y que es necesario establecer el umbral de absorción recomendado en función de los efectos negativos que determinen las investigaciones actuales.



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

Measurement of spectral transmittance in different kinds of blue blocker glasses that can be found in the market to be used with electronic digital devices.

ABSTRACT

In modern society, the use of electronic digital devices is more and more frequent, i.e., tablets, computers or smartphones. The screens of this kind of devices are often self-illuminated (backlight) via a LED matrix. As a consequence of the improvement in LED technology, illumination systems with better performance are available, thus allowing a wide variety of colours with high contrast to be reproduced within thinner screens. However white LEDs generate a maximum emission peak in the blue area of the visible spectrum that may be harmful to the users' visual and ocular health.

Recently, research is being conducted about the possible negative influence of the blue/violet light on the human visual system as well as on the circadian rhythm (wakefulness and sleep cycle). This has led to the marketing of some innovative ophthalmic glasses incorporating specific filters designed to block part of the blue component of the spectrum. This kind of lenses is specifically recommended to those users that must remain exposed to electronic digital devices screens for long periods of time.

In the current research, the spectral radiances of different blue blocker glasses placed over a LED-based backlight tablet have been measured with a spectroradiometer. The absorption capacity of different samples from 4 different manufacturers has been tested and compared with the spectral radiance of the tablet alone. It has been determined that the filtered percentage of blue light has a wide range of variability depending on the manufacturer, and thus it is necessary to establish a recommended absorption threshold depending on the negative effects that current investigations will determine.

ENGLISH SUMMARY:

Background

Currently, in modern society, the use of electronic digital devices is more and more frequent and necessary, i.e., computers, smartphones, tablets or TV sets. One of the main components of these devices is a Liquid Crystal Display (LCD) backlight screen in which the light source is set behind the screen. This illumination system allows the use of these devices in such conditions where ambient light is insufficient and, in general, improves and facilitates reading the data shown in the screen.

Until recently, the backlight system most commonly used was based in CCFL (Cold Cathode Fluorescent Light). However, thanks to the improved qualities and advantages of LED (Light Emitting Diode) systems, CCFL-based screens have been replaced by those based on LEDs. In this regards, we can find two different kinds of illumination systems for electronic devices according to the type of white LED technology being used: those LEDs emitting white light through a phosphorous coating, and those in which white light is obtained by combining three different LEDs: red, green and blue (RGB LEDs).

The LED system has some advantages over the fluorescent one: wider range of colours, higher resolution and effectiveness and the possibility of thinner screens, among others. Nevertheless some disadvantages have also been described which are currently still under study. These are mainly the possible negative side effects of the white LEDs main emission in the blue area of the visible spectrum on the visual health as well as on the biological rhythms. As an example, **figure 1** shows the emission peak at 448nm of an RGB LED backlight screen when displaying a white uniform image. The possible harmful effects from this radiation have a twofold origin: the fact that the blue light corresponds to a short wavelength of the visible spectrum, and thus carries higher energy, and the coincidence of the mentioned emission peak with the maximum absorption area of one of the retinal photoreceptors, as it will be explained below.

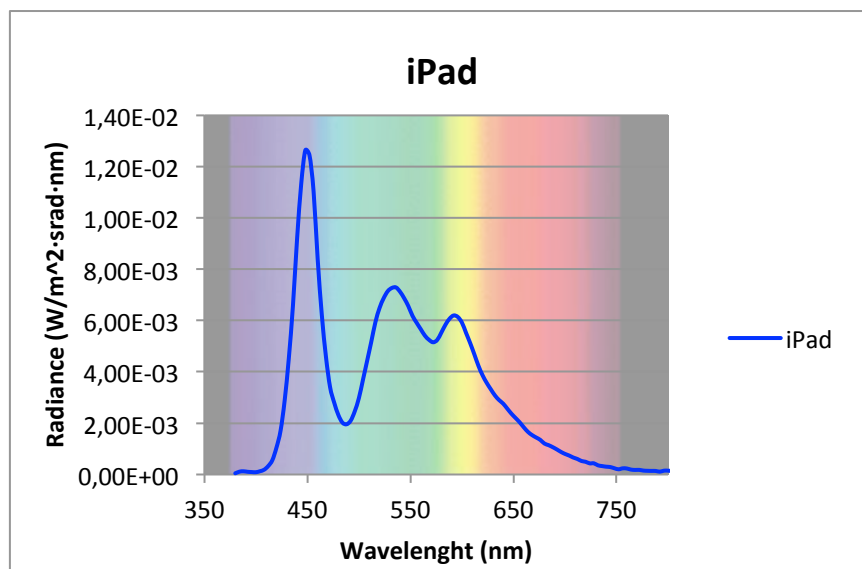


Figure 1. Spectral radiance from iPad with a white uniform image and maximum illumination.

Several works in the specific literature describe the correlation of short wavelength radiation exposure and the incidence of ocular diseases such as Age-Related Macular Degeneration (ARMD). In a recent work [Chamorro, E. et al, 2013] some *in vitro* retinal epithelial-pigmented cells were exposed to several kinds of LED light. The authors observed how those cells were damaged by the light, always under controlled laboratory conditions. Other trials have been conducted with animals in order to determine the possible *in vivo* adverse effects of LED light [Sánchez-Ramos, C. 2010]. It is important to remark that neither the illumination conditions of the LEDs used in these experiments are fully comparable with those usually used in current electronic devices nor is a straight forward extrapolation of the results to human eye structures possible.

There are also some studies aiming at finding correlations between the use of backlight devices and modifications in the circadian rhythm, that is, the sleep-wake cycle in humans. With the stimulus of visible light on the visual system, and specifically due to the absorption of blue light, melanopsin (a photo pigment of the retina) is excited, leading to a reduction in the production of melatonin or “the sleep hormone”. While receiving light during the day, the process we have just described is responsible to keep us awake and alert. At night, without blue radiation, the production of the sleep hormone makes the body become ready to sleep and rest. Generally speaking, researchers studying the effect of LED screens on the circadian rhythm evaluate the amount of segregated melatonin while participants work in front of backlight tablets during several hours before going to sleep. The levels of melatonin are determined when participants use electronic devices without any kind of filter and, some days later, when they use the same devices with blue blocker filters. The comparison of these results shows a higher melatonin rate when using selective absorbance filters and a lower fluctuation in their respective circadian rhythms [Van der Lely, S. et al, 2014; Wood, B. et al, 2013].

Bearing in mind that these backlight devices have a peak of radiance in the blue area, and that this kind of light may be harmful under some specific conditions, our visual system is nevertheless partially protected. Indeed, self-defence mechanisms include the progressive yellowing of the crystalline lens over the years of exposure to this light [Lerman, S. 1980], the lack of photoreceptors sensitive to blue light in the area of maximum vision sharpness in the retina as well as the coating of the macula with a yellowish pigment to protect it from the blue/violet light. However, our eyes are so overexposed to these kinds of radiation that some investigators have stated that external aids may be necessary to prevent the harmful effects that this light may cause [Sánchez-Ramos, C. 2010; Sánchez-Ramos, C. 2012]. At this point we are referring to an artificial protection, consisting in blue blocker lenses, which absorb in a selective way the light wavelengths considered as harmful, while being transparent for the rest of visible light.

The market offers several options to selectively block the blue wavelength of the visible spectrum, including overlays to be placed on the screens (Reticare) [<http://www.reticare.com/en/>] or some downloadable applications to control and modify the screens radiation emissions [<https://justgetflux.com/>]. In the present research we will study and analyse several selective filters incorporated into ophthalmic lenses. Some examples of blue blocker lenses available in the market are: CSR lens (Indústries d'Òptica Prats), Energy lens (INDO), Blue Control lens (Hoya) or Crizal Prevencia lens (Essilor).

The main goal of this study is to determine the spectral transmittance and to test the efficiency of some of the selective absorbance filters incorporated into commercially available ophthalmic lenses, which aim at removing the excess of blue and violet light.

Material & method

This study uses an Apple tablet (iPad mini ME280TY/A), with backlight screen and RGB LED technology. There is a maximum emission peak in the blue area of the spectrum (see **Figure 1**). This light source is used in each assessment of the spectral transmission of the analysed ophthalmic lenses. For this reason, the initial spectrum is taken as a reference value to compare with all other results and to calculate the radiation filtered by the coated lenses. In every test the screen illumination remains constant at the maximum power the device is capable to supply, plugged to the external power supply network. Measurements have been taken with a uniform white background filling the whole tablet screen in order to ensure the maximum emission of the RGB LEDs.

The radiometric measurements in this study have been conducted with a spectroradiometer "Photo Research PR-715", which analyses the visible range (380-780nm) at intervals of 4nm. Every spectral radiance graph has been drawn from the results of this instrument, with reference to the light emission source with and without attaching the ophthalmic lenses. Comparing the different pairs of radiance graphs we can calculate the spectral transmittance for each lens. In addition, in order to be sure that there was no influence of any other variables and only the effect of the evaluated blue blocker, lenses with only anti-reflective coating (with the exception Hoya, for which a lens with blue blocker coating was the only available) have also been tested and their results compared with the corresponding lenses with the same refractive characteristics but incorporating the blue blocker filter (as for Prats there are three different samples corresponding to blue blockers with different absorption levels).

The samples of the ophthalmic lenses analysed are shown in **Table 1**. They have been provided mainly by dealers and distributors free of charge and, in a few cases, by the end user.

Treatment	# Samples	Anti-reflective	Blue blocker
Prats	4	YES	YES (3 levels)
Indo	2	YES	YES
Hoya	1	NO	YES
Essilor	2	YES	YES

Table 1. Samples of ophthalmic lenses analysed in this study.

Prior to conducting the measurements, the position and orientation effect of the lenses with regards to the iPad screen has been considered. No difference in the results was observed when positioning the concave or convex face of the lens in front of the screen. For this reason lenses were always placed with the convex surface in contact with the backlight screen, trying to reproduce the real conditions of any user. Then all measurements of the transmission spectrum were conducted in all samples under the same conditions and in the same session.

Results & discussions

In this summary the most important results from Essilor are shown. These are the lenses with the highest levels of blue radiation attenuation. **Figure 2** shows graphs for the naked iPad emission and with two lenses from Essilor attached to the iPad, one with anti-reflective coating and the other with the additional blue blocker. It can be observed that the results with the lens with only the anti-reflective treatment are almost identical to those with the naked screen for all wavelengths of the visible spectrum. This finding has been a constant with the other brands from different manufacturers, obtaining radiance spectrums very similar with all lenses with anti-reflective coating alone. In light of these results we can conclude that the anti-reflective treatment does not have any significant effect on light transmission through the ophthalmic lenses.

On the other hand, the spectral radiance function measured with the blue blocker lens clearly reflects that the effect in the transmitted light is most relevant in the blue component, with the rest of values of the chromatic components practically unchanged. This lens achieves an attenuation of 17.4 % in the peak of emission in the blue area of the spectrum. As a consequence of this attenuation, the user may report the perception of a certain yellowing of the scenery.

All measurements of the other studied samples have been conducted as described for the Essilor lens. The transmittance of the lenses with blue blocker filters has been compared from the resulting spectral radiance graphs.

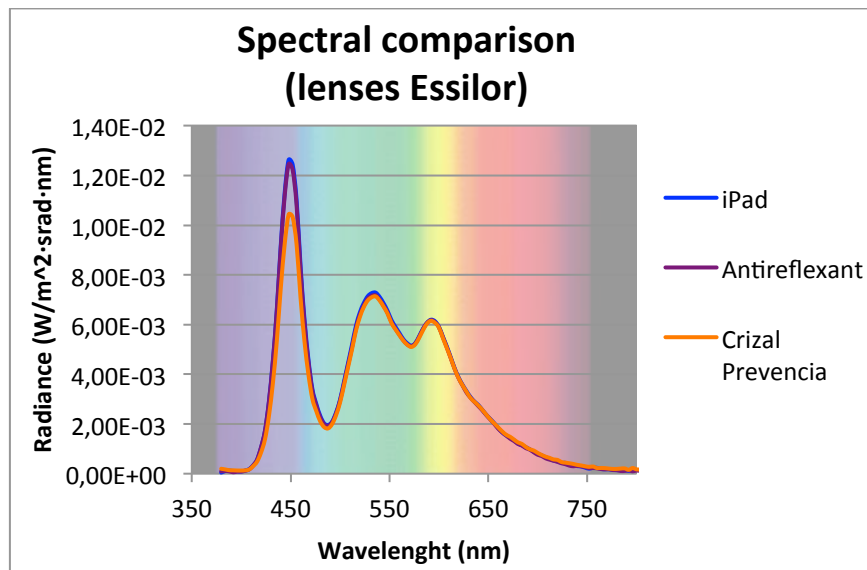


Figure 2. Spectral radiance comparison for Essilor lenses, overlaying on an iPad screen with uniform white image.

In **figure 3** spectral radiance functions of all the available lenses with an absorbance blue selective filter are drawn, together with the naked iPad emission spectrum. It can be seen that results are quite similar for all sample lenses in the whole of the visible spectrum, with the exception of the blue/violet area. This is where the LEDs have their highest peak of emission.

In this peak the radiation attenuation level depends on the lens: the lowest absorbance level of 3% belongs to the sample Energy by Indo; the highest value corresponds to Crizal Prevencia by Essilor, with 17.4%. In between we can find the sample Blue Control by Hoya with 7.1% of absorbance and CSR by Prats with an attenuation of 14.2%.

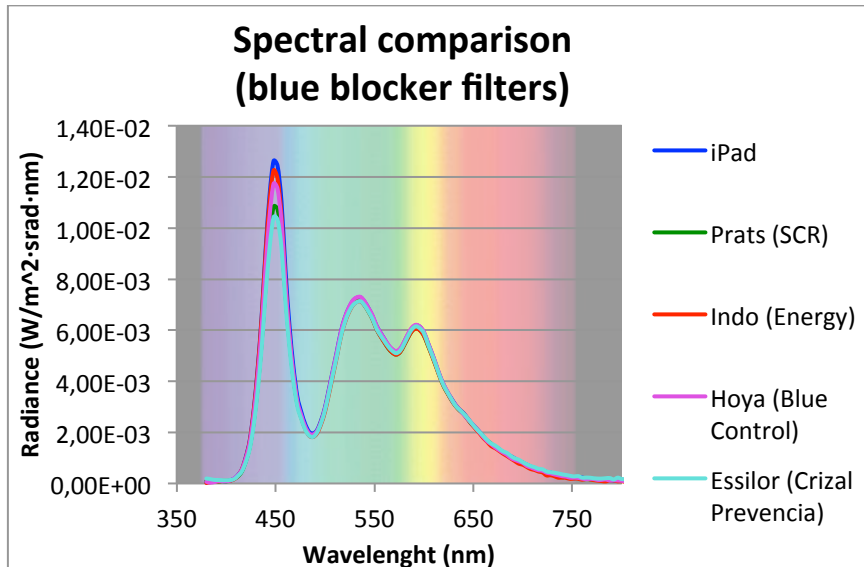


Figure 3. Spectral radiation functions corresponding to the blue blocker lenses from different manufacturers overlaying on an iPad screen with uniform white image. These functions are compared with the spectral emission function from a naked iPad screen with a uniform white background.

It is important to remark that these differences agree, more or less, with the subjective perception of the users in terms of a certain yellowing of the scenery when looking through the lenses, which is more remarkable in the lenses from manufacturers Essilor and CSR by Prats. In contrast, those lenses with a more transparent appearance are those with lower blue absorbance values: Indo and Hoya.

Conclusions

According to this study we can confirm that backlight with RGB LED technology used by iPad mini ME280TY/A (Apple tablet), when reproducing a uniform white background image, shows a peak of maximum emission in the blue area of the visible spectrum, around 450nm. By attaching ophthalmic lenses with selective absorbance filters in the blue area (blue blocker filters) over this radiation source, it has been verified that these samples fulfil with the purpose of absorbing some of this light at short wavelengths.

Nevertheless each manufacturer uses a different threshold for the attenuation of the blue light. The range among the four tested brands is 14.5%, with individual values between 3% by Indo and 17.4% by Essilor. Additionally, it is also remarkable that the highest perception of yellowing of the scenery when looking through the lenses corresponds with the highest level of absorbance in the blue area.

Finally, published literature evidences a lack of conclusion regarding which should be the recommended values of blue light attenuation in relation with the user exposition to this kind of radiation. Therefore, further research efforts are required to determine the relationship between blue light exposure and the incidence of possible ocular pathologies such as ARMD, as well as the circadian rhythm sleep disorder.

References

[Chamorro, E. et al 2013] Chamorro, E., Bonnin-Arias, C., Pérez-Carrasco, M.J., Muñoz de Luna, J., Vázquez, D., Sánchez-Ramos, C. "Effects of Light-emitting Diode Radiations on Human Retinal Pigment Epithelial Cells *In Vitro*". *Photochemistry and Photobiology*, vol 89 (2013), 468-473.

[<https://justgetflux.com/>] *F.lux software to make your life better* [Online]. [Search: October 2015]. Available in: <https://justgetflux.com/>

[<http://www.reticare.com/en/>] *Reticare protect your eyes* [Online]. [Search: October 2015]. Available in: <http://www.reticare.com/en/>

[Lerman, S. 1980] Lerman, S. "Radiant energy and the eye". *Macmillan* (1980).

[Sánchez-Ramos, C. 2010] Sánchez-Ramos, C., García, J., Gili, P. *Filtros ópticos contra el efecto fototóxico del espectro visible en la retina: Experimentación animal*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Europea de Madrid, 2010.

[Sánchez-Ramos, C. 2012] Sánchez-Ramos, C., Armadá, F., Vila, C., Chamorro, E., *Influencia de las lentes intraoculares amarillas en el daño fototóxico retiniano. Valoración del espesor macular mediante Tomografía de Coherencia Óptica*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Europea de Madrid, 2012.

[Van der Lely, S. et al, 2014] Van der Lely, S., Frey, S., Garbazza, C., Wirz-Justice, A., Jenni, O.G., Steiner, R., Wolf, S., Cajochen, C., Bromundt, V., Schmidt, C. "Blue Blocker Glasses as a Countermeasure for Alerting Effects of Evening Light-Emitting Diode Screen Exposure in Male Teenagers". *Journal of Adolescent Health*, vol 56 (2015), 113-119.

[Wood, B. et al. 2013] Wood, B., Rea, M.S., Plitnick, B., Figueiro, M.G. "Light level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression". *Applied Ergonomics*, vol 44 (2013), 237-240.

Agraïments

Aquest treball, a part d'aportar-me molts coneixements i ajudar-me a créixer com a persona, ha simbolitzat posar un punt final a una etapa de la meva vida que vaig emprendre fa gairebé 4 anys i mig. Així doncs, m'agradaria dedicar unes línies d'agraïment a totes les persones que ho han fet possible:

En primer lloc, a la directora d'aquest projecte Elisabet Pérez Cabré, pel seguiment, l'ajuda i el suport que m'ha proporcionat en tot moment. També agrair al codirector Genis Cardona Torradeflot, per orientar-me en més d'una ocasió i pel seu compromís en aquest projecte.

Als meus familiars, en especial als meus pares, pel suport que m'han donat durant la realització d'aquest treball, per aguantar alguns moments de nerviosisme, i en especial, per proporcionar-me tots els medis per poder tirar endavant aquests estudis. Sense ells no hauria estat possible.

Agrair també a l'Enric Josa per facilitar-me el contacte amb els fabricants de lents oftàlmiques i aconseguir part del material necessari per dur a terme el projecte.

Mereix també una menció especial la Raquel, una gran companya i amiga amb la qual he compartit aquests anys de carrera i que sempre m'ha ofert el seu suport i ajuda desinteressada.

Finalment, i no com a menys important, a les meves amigues per proporcionar-me el seu suport moral en tot moment.

A tots vosaltres, gràcies!

Índex

1. Introducció	9-11
2. Marc teòric	12-43
2.1. Pantalles retro-il·luminades.....	13-20
2.1.1. Definició general.....	13-15
2.1.2. Aparició del LED blau.....	15-17
2.1.3. Comparativa retro-il·luminació CCFL i LED.....	17-20
2.2. L'ús de pantalles retro-il·luminades i els seus possibles efectes sobre la salut ocular i el ritme circadiari.....	20-38
2.2.1. Introducció.....	20-22
2.2.2. Radiació UV.....	22-24
2.2.3. Llum blava dins l'espectre visible.....	24
2.2.4. Mecanismes de protecció natural del sistema visual vers la llum UV i la llum blava.....	25-26
2.2.5. Possibles efectes de la radiació de longitud d'ona curta (UV i blava) sobre la salut ocular i el ritme circadiari.....	26-38
2.2.5.1. DMAE.....	27-31
2.2.5.1.1. Definició general.....	27-28
2.2.5.1.2. Estudis que relacionen la radiació de longitud d'ona curta amb l'aparició de la DMAE.....	28-29
2.2.5.1.3. Prevalença i factors de risc.....	30
2.2.5.1.4. Tipus de DMAE.....	30-31
2.2.5.1.5. Síntomes.....	31
2.2.5.2. Alteració del ritme circadiari.....	32-34
2.2.5.2.1. Definició general.....	32
2.2.5.2.2. Estudis que relacionen l'ús dels dispositius retro-il·luminats amb l'alteració del ritme circadiari.....	33-34

2.2.5.3.	Fatiga visual per l'ús de pantalles electròniques.....	34-38
2.2.5.3.1.	Síndrome Visual Informàtica (SVI).....	35
2.2.5.3.2.	Estudis que relacionen l'ús dels dispositius retro- il·luminats amb la SVI.....	35-36
2.2.5.3.3.	Recomanacions per disminuir els efectes de les pantalles.....	36-38
2.3.	Elements disponibles actualment per a la disminució dels efectes de la llum blava en el sistema visual. Filtres de llum blava.....	38-43
2.3.1.	Introducció.....	38
2.3.2.	Tipus de filtres.....	39-43
2.3.2.1.	Làmines superposades a les pantalles electròniques. Làmines Reticare.....	39-40
2.3.2.2.	Aplicacions informàtiques (Apps) per dispositius electrònics.....	40
2.3.2.3.	Tractaments superficials en lents oftàlmiques.....	41-43
3.	Objectius i hipòtesis.....	44
4.	Metodologia.....	45-50
4.1.	Material.....	45-49
4.1.1.	Sistema d'il·luminació.....	45-46
4.1.2.	Espectroradiòmetre. Mesures radiomètriques i fotomètriques.....	46-47
4.1.3.	Lents.....	48-49
4.1.3.1.	Prats.....	48
4.1.3.2.	Indo.....	48
4.1.3.3.	Hoya.....	49
4.1.3.4.	Essilor.....	49
4.2.	Mètode.....	49-50
4.3.	Implicacions ètiques.....	50

5. Resultats i discussió.....	51-62
5.1. iPad.....	51-52
5.2. Comparativa.....	52-62
5.2.1. Diferents lents d'un mateix fabricant.....	52-57
5.2.1.1. Prats.....	52-54
5.2.1.2. Indo.....	54-55
5.2.1.3. Hoya.....	55-56
5.2.1.4. Essilor.....	56-57
5.2.2. Lents amb filtre d'absorció al blau de diferents fabricants.....	58-62
6. Conclusions i futurs treballs.....	63-64
7. Referències.....	65-72
8. Annexos.....	73-83
Annex A. Informació Comercial Lent Blue Control (Hoya).....	73
Annex B. Informació Comercial Lent Energy (INDO) (Cara A).....	74
Annex C. Informació Comercial Lent Energy (INDO) (Cara B).....	75
Annex D. Suplement Lent Crizal Prevencia (Essilor).....	76
Annex E. Tarifa Lent "Imax" progressiva (Prats).....	77
Annex F. Tarifa Lent "Estándar LAB, Extrafin 1,5" monofocal (Prats).....	78
Annex G. Tarifa Lents orgàniques (Hoya).....	79
Annex H. Tríptic Lent Crizal Prevencia (Essilor) (Cara A).....	80
Annex I. Tríptic Lent Crizal Prevencia (Essilor) (Cara B).....	81
Annex J. Tríptic Lent CSR (Prats) (Cara A).....	82
Annex K. Tríptic Lent CSR (Prats) (Cara B).....	83

Índex de figures

Figura 1. LCD amb retro-il·luminació, format per una font de llum a la part posterior, un filtre pel color, una pantalla de cristall líquid enmig de dos polaritzadors i finalment un panell de vidre frontal.....(pàg. 13)

Figura 2. Diferents tipus d'il·luminació de les pantalles LCD.....(pàg. 14)

Figura 2a. Estació meteorològica (LCD sense retro-il·luminació)

Figura 2b. Tauleta (LCD amb retro-il·luminació)

Figura 3. Diferents tipus de retro-il·luminació.....(pàg. 15)

Figures 3a i 3b. D'esquerra a dreta: il·luminació per les vores o "Edge" i il·luminació directa o "Full", ambdós casos amb CCFL

Figures 3c i 3d. D'esquerra a dreta: il·luminació per les vores o "Edge" i il·luminació directa o "Full", ambdós casos amb LED

Figura 4. Evolució de les fonts d'il·luminació al llarg de l'història amb els corresponents rendiments lluminosos. D'esquerra a dreta: làmpada d'oli, bombetes incandescentes, llums fluorescents i LEDs.....(pàg. 16)

Figura 5. Diagrama cromàtic CIE. Els triangles mostren els colors reproduïbles amb retro-il·luminació CCFL i LED.....(pàg. 17)

Figura 6. Espectre electromagnètic amb les longituds d'ona corresponents a cada tipus de radiació.....(pàg. 20)

Figura 7. Anatomia de l'ull humà.....(pàg. 22)

Figura 8. Capes de l'atmosfera.....(pàg. 23)

Figura 9. Forat de la capa d'ozó a l'Antàrtida.....(pàg. 23)

- Figura 10.** Representació de les bandes de l'espectre visible que conformen la llum blanca.....(pàg. 24)
- Figura 11.** Esgroguement del cristal·lí amb el pas del temps [Lerman, 1980](pàg. 26)
- Figura 12.** Acumulació de druses entre la coroides i les cèl·lules del EPR (fases inicials de la DMAE).....(pàg. 28)
- Figura 13.** D'esquerra a dreta: màcula normal, màcula amb DMAE seca i màcula amb DMAE humida.....(pàg. 31)
- Figura 14.** Glàndula pineal, situada enmig del cervell i encarregada de la segregació de la melatonina.....(pàg. 32)
- Figura 15.** Pantalla d'ordinador amb reflexos lluminosos.....(pàg. 36)
- Figura 16.** Consells d'ergonomia visual durant l'ús d'ordinadors.....(pàg. 37)
- Figura 17.** Làmina amb filtre d'absorció de la llum blava.....(pàg. 39)
- Figura 18.** Comparativa d'una captura de pantalla d'un ordinador amb l'ús de l'aplicació "F.lux", durant el dia i a mesura que aquest va avançant(pàg. 40)
- Figura 19.** Lent amb filtre d'absorció de la llum blava.....(pàg. 41)
- Figura 20.** Lent de Contacte amb filtre d'absorció de la llum blava.....(pàg. 43)
- Figura 21.** Tauleta retro-il·luminada d'Apple (iPad mini ME280TY/A).....(pàg. 45)

Figura 22. Vista en microscopi (200x) dels LEDs RGB que formen la pantalla de l'iPad.....(pàg. 45)

Figura 23. Espectroradiòmetre i sistema de muntatge.....(pàg. 46)

Figura 24. Pantalles de l'aplicatiu de control de l'espectroradiòmetre, on es veuen algunes de les mesures obtingudes en el procés d'anàlisi d'emissió de la tauleta gràfica.....(pàg. 47)

Figura 25. D'esquerra a dreta: Lent MCV, CSR, CSR 2a i CSR 2b.....(pàg. 48)

Figura 26. D'esquerra a dreta: Lent Natural i Energy.....(pàg. 48)

Figura 27. Lent Blue Control.....(pàg. 49)

Figura 28. D'esquerra a dreta: Lent Crizal i Crizal Prevencia.....(pàg. 49)

Índex de gràfiques

Gràfica 1. Comparació espectral: pantalla retro-il·luminada amb LEDs i pantalla retro-il·luminada amb fluorescents.....(pàg. 19)

Gràfica 2. Corba de radiància espectral de l'iPad amb imatge uniforme blanca i il·luminació màxima.....(pàg. 51)

Gràfica 3. Comparació de les corbes de radiància espectral de les diferents lents de Prats, superposades a l'iPad amb imatge uniforme blanca.....(pàg. 53)

Gràfica 4. Comparació de les corbes de radiància espectral de les diferents lents d'Indo, superposades a l'iPad amb imatge uniforme blanca.....(pàg. 55)

Gràfica 5. Comparació de les corbes de radiància espectral de la lent d'Hoya amb filtre blau Blue Control, superposada a l'iPad amb imatge uniforme blanca.....(pàg. 56)

Gràfica 6. Comparació de les corbes de radiància espectral de les diferents lents d'Essilor, superposades a l'iPad amb imatge uniforme blanca.....(pàg. 57)

Gràfica 7. Comparació de les corbes de radiància espectral de les lents amb filtre d'absorció al blau de diferents cases comercials, superposades a l'iPad amb imatge uniforme blanca.....(pàg. 58)

Gràfica 8. Comparativa entre l'atenuació que proporciona cada lent amb filtre blau i el suplement econòmic respecte a la lent antireflexant.....(pàg. 61)

Índex de taules

Taula 1. Mostres de lents oftàlmiques analitzades en aquest estudi...(pàg. 48)

Taula 2. Absorbància(%) de cada lent superposada a l'iPad amb imatge uniforme blanca i il·luminació màxima.....(pàg. 59)

Taula 3. Comparativa entre l'atenuació que proporciona cada lent amb filtre blau i el suplement econòmic respecte a la lent antireflexant.....(pàg. 60)

1. Introducció

Avui dia, en la nostra societat, cada vegada es fa més necessari i és més freqüent l'ús de dispositius electrònics, ja que aquests ens brinden moltes comoditats i ens permeten estar ben informats i comunicats amb tota la comunitat. Aquests aparells van des dels ordinadors, mòbils, tauletes, GPS o televisors.

Tots ells, tenen en comú, una mateixa estructura: estan formats, entre altres elements, per una pantalla de cristall líquid o LCD (*Liquid Crystal Display*) amb un sistema d'il·luminació (*backlight*) a la part posterior. Aquest últim ens permet usar els dispositius en condicions on sigui escassa la llum ambient, i en general millora la visualització de dades per pantalles.

El sistema de retro-il·luminació més emprat actualment, consisteix a utilitzar tres LEDs combinats: vermells, verds i blaus (LED RGB), que amb la seva emissió simultània, permeten obtenir la llum blanca.

Aquest sistema LED ofereix un ventall d'avantatges als dispositius digitals, tals com una gamma de colors molt àmplia, una bona resolució i eficiència, la possibilitat de fer les pantalles dels dispositius molt primes, i un baix consum elèctric, entre d'altres.

No obstant, també s'associa el sistema d'il·luminació LED amb possibles efectes negatius a la salut visual i ocular i en els ritmes biològics, a causa del pic d'emissió que produeix aquesta il·luminació en la zona dels blaus. Per una banda, aquesta emissió, correspon a una longitud d'ona baixa de l'espectre visible, i com més curta és la longitud d'ona de l'espectre electromagnètic, major és l'energia i l'efecte que pot tenir en interactuar amb la matèria. Per altra banda, el pic d'emissió dels LEDs blancs, en la zona blava del visible, coincideix en bona mesura amb la màxima absorptància d'uns fotoreceptors presents a la retina, que controlen la segregació o inhibició de la melatonina, altrament dita "hormona de la son". L'alteració d'aquest cicle, produeix variacions en el ritme biològic o circadiari de l'estat de vetlla i de repòs, provocant desajustos en l'ésser humà.

Aquests possibles efectes negatius causats pels dispositius retro-il·luminats amb LEDs, tals com l'aparició de la DMAE (Degeneració Macular Associada a l'Edat), o l'alteració del ritme circadiari, són un tema d'estudi i investigació molt present avui dia, i són una font d'interès i preocupació de l'actualitat.

Certs autors asseguren que, en les condicions habituals d'ús dels dispositius electrònics en la nostra societat, és necessari usar uns filtres que proporcionen una protecció artificial al nostre sistema visual per prevenir els efectes nocius que pugui ocasionar el fet d'estar exposats a aquests tipus de radiacions.

Aquestes ajudes, són conegudes com a filtres de llum blava, i les trobem en forma de làmines que se superposen a les pantalles, aplicacions informàtiques que controlen i modifiquen l'emissió de les pantalles, o filtres selectius incorporats a lents oftàlmiques.

En el present estudi, ens centrarem en aquests últims productes, a partir de mesurar i analitzar les corbes de les radiàncies espectrals (obtingudes amb l'espectroradiòmetre "Photo Research PR-715") d'una tauleta (iPad mini ME280TY/A) amb i sense la superposició de filtres d'absorbància selectiva a aquest mateix dispositiu electrònic.

Les mesures es van realitzar amb una imatge blanca uniforme en la tauleta, i totes en la mateixa sessió, per tal d'assegurar que s'efectuessin amb les mateixes condicions experimentals, i que la font de llum emprada tingués unes característiques aproximadament constants.

Basarem l'estudi en l'anàlisi de les lents amb filtre de la llum blava, proporcionades pels proveïdors d'Indústries i Òptica Prats, INDO, Hoya Corporation i Essilor International, centrant-nos en el pic d'emissió de la llum blava de l'espectre visible que produeixen els dispositius electrònics retro-il·luminats amb LED, i valorant la capacitat dels filtres oftàlmics disponibles per atenuar aquesta component de l'espectre.



Paral·lelament, també es faran comparatives amb les lents d'un mateix proveïdor que ofereixen només el tractament antireflexant, i les que ofereixen el filtre d'absorbència selectiva als blaus, i amb totes les lents dels diferents proveïdors que ofereixen l'absorció dels blaus, observant també quins efectes perceben els usuaris d'aquestes.

Finalment, s'estudiarà com repercuteix aquest filtre al preu final del producte.

2. Marc teòric

La majoria de dispositius electrònics que permeten la visualització de dades per pantalla, avui dia, contenen un panell LCD (per les sigles angleses: *Liquid Crystal Display*). Els panells LCD són dispositius òptics controlats electrònicament que aprofiten les propietats dels cristalls líquids per modular la llum incident. Existeixen panells de diferents mides i amb diferent nombre d'elements o píxels. En general, tots ells tenen en comú que, per a la seva aplicació en la visualització d'imatges, cal que la làmina de cristall líquid estigui situada enmig de dos polaritzadors. Les imatges o senyals que es volen mostrar en aquests dispositius s'envien a través d'un software especialment dissenyat per aquest propòsit, i es poden actualitzar i modificar contínuament. Segons la imatge a reproduir, s'enviarà un senyal elèctric a cada zona de la pantalla, que farà variar el voltatge aplicat a cada píxel o element. Com a conseqüència d'això, la llum transmesa a cada zona de la pantalla variarà, de manera que es reproduiran els diferents nivells de gris que corresponguin a la imatge que es vol visualitzar.

Les pantalles de cristall líquid o LCD no emeten llum pròpia. En funció de la il·luminació utilitzada per visualitzar la imatge que es vol reproduir, i el disseny del dispositiu, es podran reproduir imatges en un sol color o monocromes, o en color.

Com a font d'il·luminació, segons l'aplicació del dispositiu, podem trobar LCD il·luminades per la llum ambient externa a l'aparell, o bé existeixen molts dispositius que contenen una font d'il·luminació pròpia, denominada habitualment com a retro-il·luminació o *backlight*.

Descriurem amb més detall la composició d'aquestes pantalles, i l'evolució temporal de les fonts de llum emprades.

2.1. Pantalles retro-il·luminades

2.1.1. Definició general

Les pantalles retro-il·luminades són uns dispositius formats per una pantalla de cristall líquid o LCD amb un sistema d'il·luminació a la part posterior, tal com indica el seu propi nom.

Com s'ha comentat, les pantalles LCD consisteixen en una capa prima i plana de cristall líquid, dividida en diversos elements o píxels, controlats cada un d'ells per uns elèctrodes i que, pel seu funcionament, requereixen estar situats enmig de dues làmines polaritzadores com es mostra en la **figura 1**.

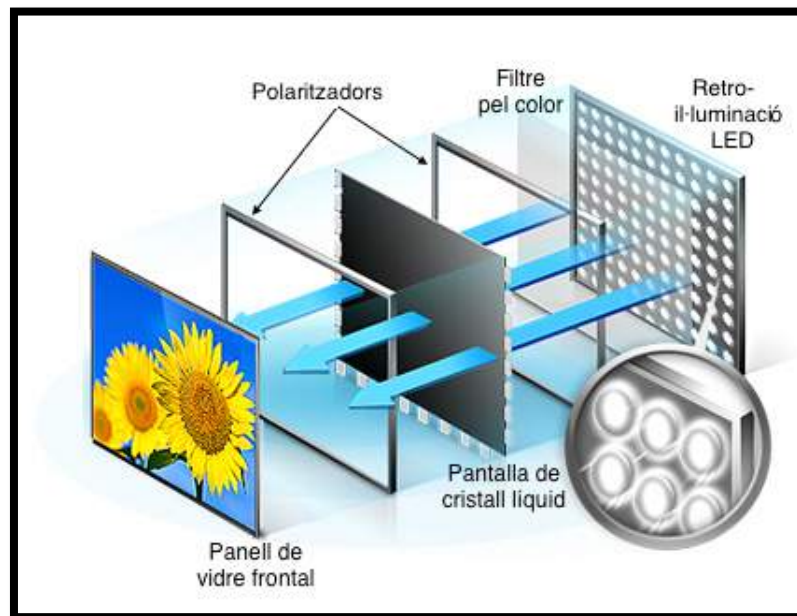
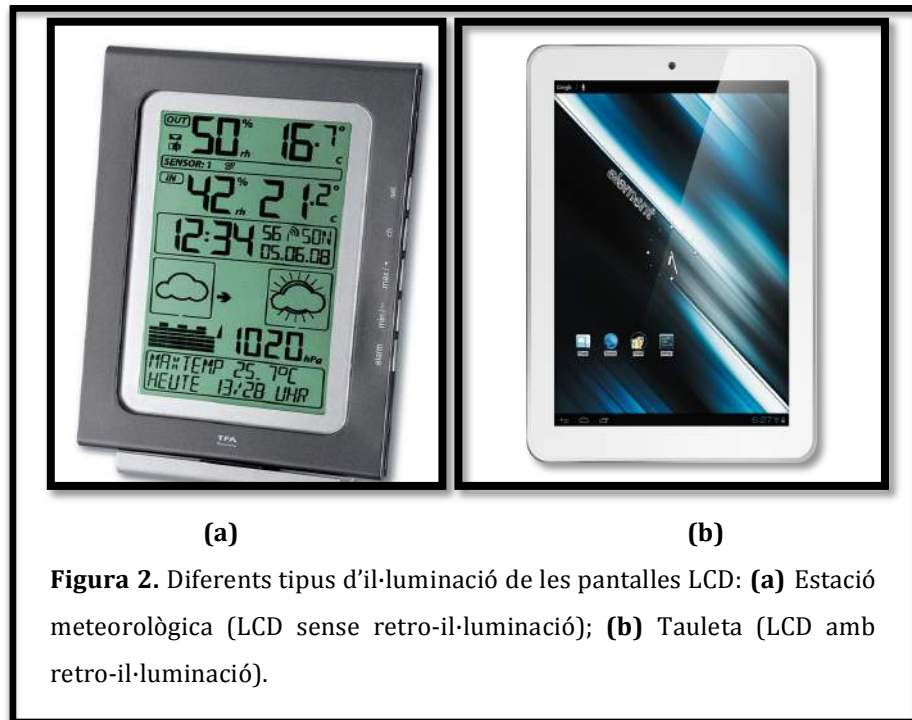


Figura 1. LCD amb retro-il·luminació, format per una font de llum a la part posterior, un filtre pel color, una pantalla de cristall líquid enmig de dos polaritzadors i finalment un panell de vidre frontal.

Per a la il·luminació de les pantalles LCD, podem trobar dues situacions:

- La pantalla LCD es col·loca davant d'una superfície reflectora (LCD sense retro-il·luminació) per reflectir la llum ambient o d'una font externa al dispositiu que permeti visualitzar la informació representada en la pantalla. Aquesta situació correspondria, per exemple, al rellotge digital o a l'estació meteorològica mostrats en la **figura 2a**.

- La pantalla LCD es col·loca davant d'una font de llum pròpia i interna del dispositiu (LCD amb retro-il·luminació, **figura 1**). Aquesta font de llum, en anglès, es sol denominar com a *backlight* i correspondria al cas de la majoria de TV, ordinadors, mòbils o tauletes actuals (**figura 2b**).



Aquest últim sistema d'il·luminació permet usar dispositius en condicions on sigui escassa la llum ambient, i en general millora i ens fa més còmodes la visualització de dades per pantalles (en utilitzar l'ordinador, dispositius mòbils, televisors, etc.). Cal dir, no obstant, que en algunes situacions, com ara en ambients exteriors molt assolellats, la visualització de la pantalla pot no ser òptima.

Fins ara, el sistema de retro-il·luminació més utilitzat era amb làmpades fluorescents o CCFL (de l'anglès, *Cold Cathode Fluorescent Light*). Però, a causa de les qualitats i avantatges que ofereix el sistema LED (per les sigles angleses: *Light Emitting Diode*), entre les quals, una àmplia gamma de colors i generalment més brillants, i una reducció del gruix dels dispositius, s'ha anat substituint per aquest últim.

Aquest avenç no implica necessàriament canviar tota la tecnologia del dispositiu que utilitza una pantalla LCD, sinó que només suposa un canvi de les làmpades posteriors d'aquest. De fet, amb ambdues fonts de llum, CCFL i LED, s'ha emprat tant la il·luminació directa des del fons de la pantalla, com la il·luminació per les vores. Podem veure aquesta distribució de les làmpades en les pantalles retro-il·luminades en la **figura 3**.

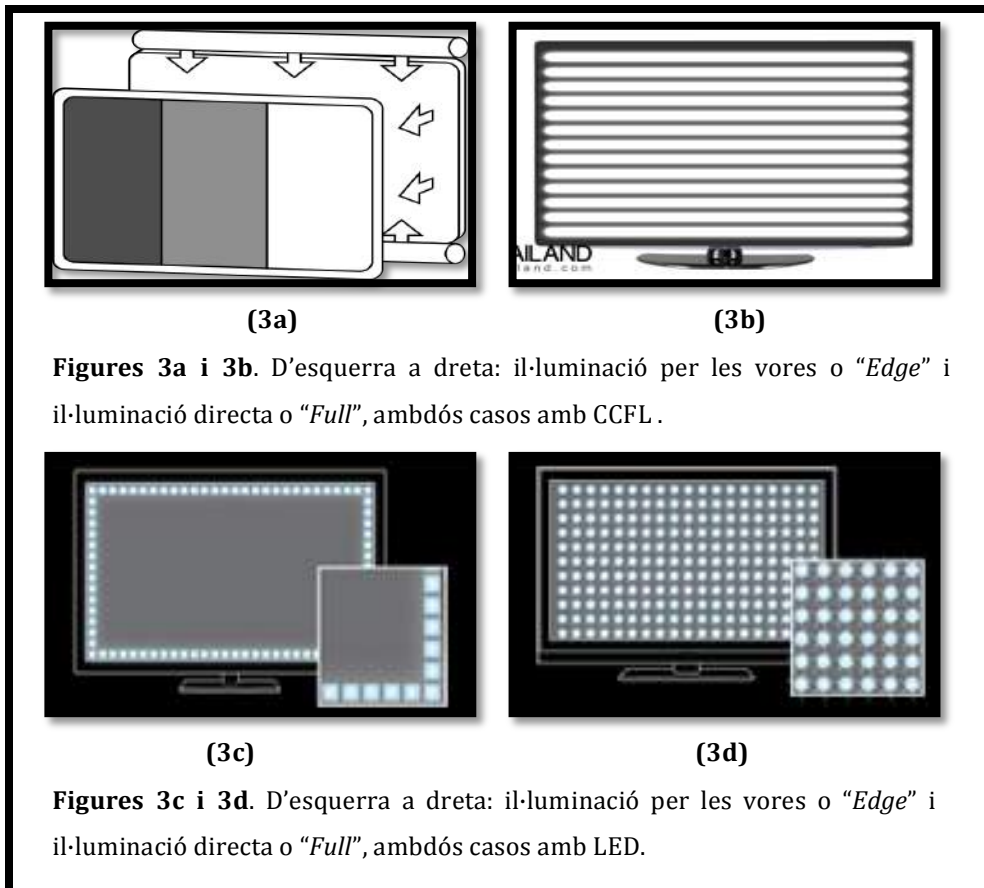


Figura 3. Diferents tipus de retro-il·luminació.

2.1.2. Aparició del LED blau

El dimarts 7 d'octubre del 2014, la Real Acadèmia Sueca de Ciències va anunciar els guanyadors del Premi Nobel de Física 2014: Isamu Akasaki (Chiran, 1929) i Hiroshi Amano (Hamamatsu, 1960) de la Universitat de Nagoya, i Shuji Nakamura (Ikata, 1954) de la Universitat de Califòrnia, per haver aconseguit l'emissió de llum LED blava.

Els LEDs vermells i verds ja es coneixien des de feia uns quants anys, però no va ser fins a la invenció del LED blau, cap al 1990, que va ser possible aconseguir la llum blanca amb aquesta tecnologia LED. Per això va ser necessari que passessin tres dècades.

Així doncs, aquest descobriment va permetre l'existència d'una llum blanca brillant, de llarga duració i més eficient que les usades fins ara (incandescents, fluorescents, etc.). Podem observar de forma esquemàtica les fonts de llum que han tingut més impacte en l'evolució de la humanitat en la **figura 4**, destacant els rendiments lluminosos aconseguits amb cada tecnologia.

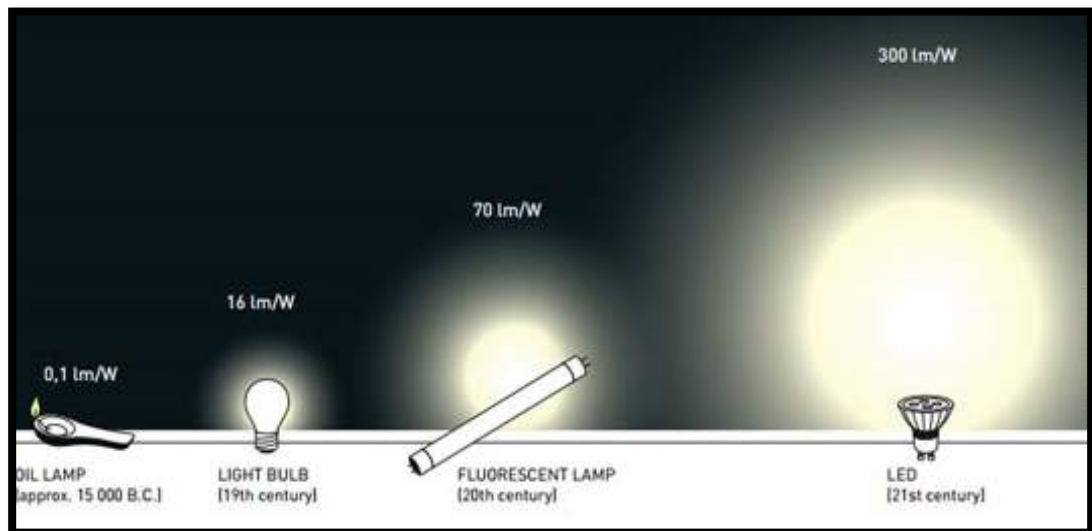


Figura 4. Evolució de les fonts d'il·luminació al llarg de l'història amb els corresponents rendiments. D'esquerra a dreta: làmpada d'oli, bombetes incandescents, llums fluorescents i LEDs.

Els dos mètodes per poder obtenir aquesta llum LED blanca, consisteixen bàsicament en:

- Utilitzar tres LEDs combinats: vermells, verds i blaus, per formar la llum blanca (**LED RGB**). Aquesta tecnologia ofereix la possibilitat d'aconseguir una gran gamma de colors a partir de modificar la intensitat relativa de cadascun dels LEDs. Per això, aquest sistema és el que actualment s'està usant en molts de dispositius electrònics com mòbils, portàtils, "tablets", ...

- Combinar un LED blau amb un recobriment de fòsfor groc, el qual té la capacitat d'absorbir una porció de la llum blava i reemetre-la en una zona de l'espectre de longituds d'ona més grans, que combinada amb la llum blava del LED, produeix llum blanca resultant. Aquests dispositius resulten més senzills i econòmics, i han permès usar aquesta tecnologia LED per poder il·luminar espais.

2.1.3. Comparativa retro-il·luminació CCFL i LED

Entre els **avantatges** que suposa un sistema LED respecte al fluorescent trobem:

- Ofereix una gamma de colors més àmplia, gràcies a la quantitat de llum que emeten els díodes LED. Tal com s'observa representat en la **figura 5**, un dispositiu amb CCFL pot cobrir solament un 82% de la gamma de colors de NTSC¹ (de l'anglès, *National Television System Committee*). En canvi, amb un dispositiu amb LED es pot arribar a abastar $\geq 114\%$ del NTSC.

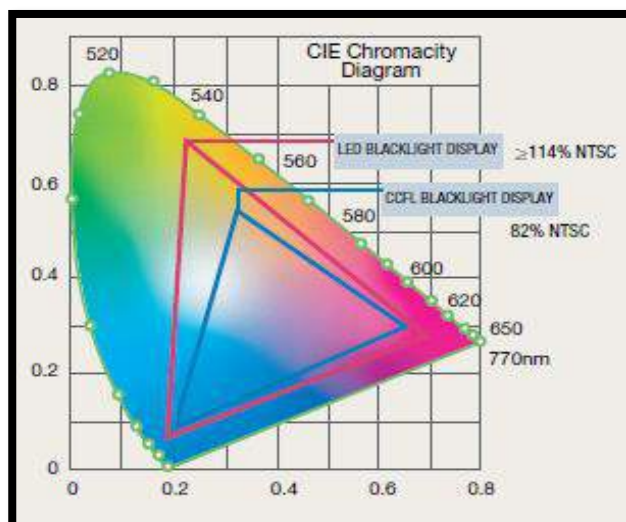


Figura 5. Diagrama cromàtic CIE. Els triangles mostren els colors reproduïbles amb retro-il·luminació CCFL i LED.

¹ NTSC: anomenat així per les sigles angleses de *National Television System Committee*, és el sistema de televisió analògic que s'ha emprat a Amèrica del Nord, Amèrica Central, la major part d'Amèrica del Sud i Japó entre d'altres.

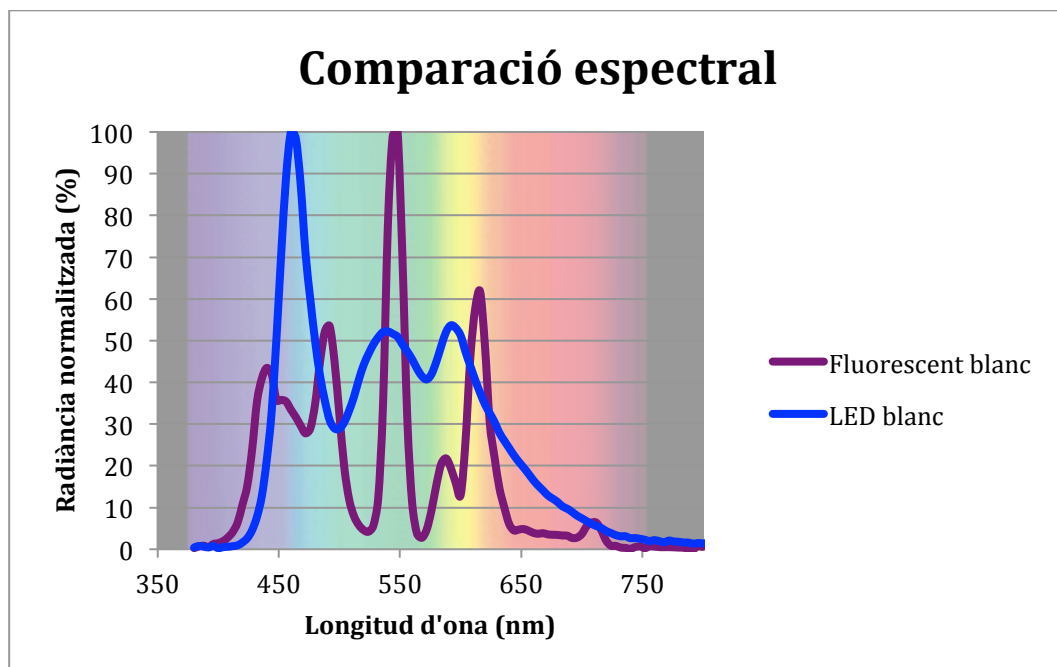
- Gràcies a les petites dimensions dels emissors LEDs és possible tenir pantalles amb un nombre significatiu d'unitats de LED dels tres colors bàsics (blau, verd i vermell) i aconseguir imatges amb molt bona resolució.
- El fet de poder controlar la intensitat dels LEDs individualment, o fins i tot apagar cada díode per separat, permet tenir imatges amb una molt bona definició dels colors i del contrast.
- Disminució del consum elèctric. El LED proporciona un augment d'un 30% en l'eficiència respecte al sistema CCFL.
- Possibilitat de fer les pantalles dels dispositius més primes, ja que els LEDs són molt més petits que els tubs fluorescents.
- Capacitat d'oferir més lluentor, i així, es poden usar sense problema, tant en interiors, com en exteriors o zones relativament assolellades.
- Esperança de vida més llarga. Els LEDs tenen més hores útils de vida en comparació amb altres fonts de llum, com els fluorescents.
- Una resposta ràpida a l'encesa de la font de llum. Mentre que en el LED és pràcticament instantània, en el fluorescent requereix un temps de resposta més gran.
- Respecte del medi ambient, ja que no presenten materials tòxics o que puguin perjudicar-lo, com en altres fons de llum convencionals (mercuri dels fluorescents, halògens, plom,...).

No obstant, també trobem **inconvenients** en el sistema LED, que ara com ara estan en procés d'estudi, i que amb el desenvolupament de la tecnologia poden canviar:

- Elevat cost inicial: en ser una tecnologia més nova i en ple desenvolupament, les unitats de LED són més cares que altres fonts de llum més emprades entre la població. Tot i que els LEDs són més barats individualment que els CCFLs, per una mateixa mida de pantalla, les que utilitzen il·luminació LED necessiten més unitats que tubs CCFL, i això pot arribar a fer que el cost d'una pantalla LED sigui més alt que una pantalla CCFL.

En el factor econòmic però, també s'ha de tenir en compte que les unitats LED duren més temps i, en cas que necessitin reparar-se, els LEDs individuals seran més barats.

- Espectre d'emissió del LED i el seu possible efecte a la salut visual i ocular i en els ritmes biològics. En la **gràfica 1** es mostra l'espectre d'emissió obtingut a partir d'una pantalla retro-il·luminada que utilitza LEDs, i una que utilitza fluorescents. En ambdós casos s'ha reproduït a la pantalla una imatge uniforme blanca, per facilitar-ne la comparació, i obtenir la radiància emesa en tot l'espectre visible.



Gràfica 1. Comparació espectral: pantalla d'ordinador retro-il·luminada amb LEDs i pantalla d'ordinador retro-il·luminada amb fluorescents.

A la **gràfica 1** es mostren les corbes normalitzades individualment, ja que les mesures corresponen a dues pantalles d'ordinador diferents en les quals no es podia assegurar que els mateixos valors de brillantor i contrast de la pantalla fossin equivalents a un mateix nivell de luminància.

D'aquesta gràfica és important destacar els diferents espectres obtinguts segons la font d'il·luminació utilitzada en la retro-il·luminació de la pantalla.

Així, en el cas dels LEDs es veu clarament un pic d'emissió en la zona dels blaus de l'espectre visible, assolint un màxim al voltant dels 460nm. En el cas de la pantalla il·luminada amb fluorescents, si bé apareixen altres pics d'emissió, cap d'ells se situa a la zona blava de l'espectre.

2.2. L'ús de pantalles retro-il·luminades i els seus possibles efectes sobre la salut ocular i el ritme circadiari

2.2.1. Introducció

L'Energia Radiant és l'energia que posseeixen les ones electromagnètiques, amb una gamma de freqüències entre 10^8 y 10^{24} Hz, i amb la capacitat de propagar-se pel buit.

La distribució energètica del conjunt d'aquestes ones s'anomena Espectre Electromagnètic (EEM) i inclou una àmplia gamma de radiacions (representades a la **figura 6**). De longitud d'ona més petita a més gran: Raigs Còsmics, Raigs Gamma, Raigs X, Raigs Ultraviolats (UV), Llum Visible, Raigs Infrarojos (IR), Microones, Radar i Ràdio.

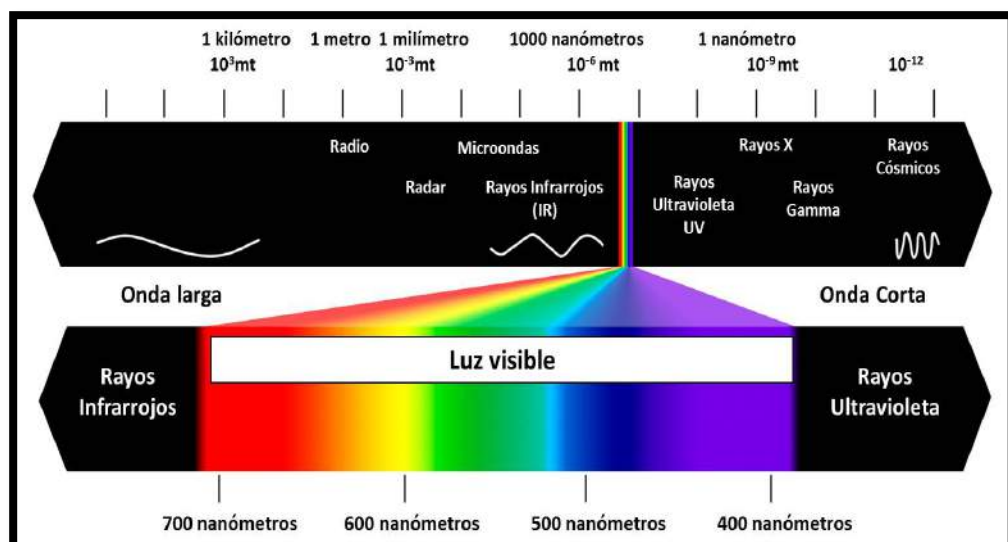


Figura 6. Espectre electromagnètic amb les longituds d'ona corresponents a cada tipus de radiació.

En aquest treball d'investigació, ens centrarem en la regió de l'espectre electromagnètic que els humans som capaços de percebre, és a dir, la llum visible (comprès entre longituds d'ona des de 380nm fins a 780nm).

Sobretot, fixarem la nostra atenció en la zona de longitud d'ona més baixa (blava/violeta), ja que és la que actualment s'està investigant amb certa intensitat per poder determinar si podria tenir efectes negatius en el sistema visual humà, en la salut ocular i en els ritmes biològics. Com més curta és la longitud d'ona, major és l'energia que té la radiació, i això, a priori, pot implicar un efecte major en la interacció d'aquesta radiació amb la matèria.

En general està acceptat que existeixen grups de població més vulnerables a patir danys oculars per les radiacions de longitud d'ona curta:

- **Pacients d'edat avançada**, ja que el més probable és que acumulin més hores d'exposició a aquesta llum, i a més, el pas dels anys s'associa a la disminució de certes molècules protectores que poden filtrar part d'aquesta radiació.
- **Pacients amb afàcia**, ja que el cristal·lí és una barrera que filtra part de la UV i de la llum blava, especialment en edats avançades on aquest element de l'ull pren tonalitats més groguenques.
- **Persones amb problemes de melanina**, nombrosos estudis han investigat la relació entre l'aparició de Degeneració Macular i el color de l'iris. S'ha demostrat que en els pacients amb l'iris més clar (baixes concentracions de melanina) hi ha una prevalença significativament més alta d'aquesta malaltia que amb pacients amb l'iris marró fosc o negre.

També existeixen estructures oculars més afectades per aquestes radiacions. En la **figura 7** podem veure una representació d'aquestes estructures de l'ull. La més protegida (i interna) i amb la que s'ha de tenir més cura és la retina, per tal de prevenir danys irreversibles com la Degeneració Macular. Malgrat tot, aquesta estructura més profunda compta amb altres barreres pròpies del mateix sistema ocular més externes que absorbeixen part d'aquestes radiacions, però que al seu torn, també poden patir danys.

Aquestes són: el cristal·lí, estructura de la què nombrosos estudis han demostrat una alta correlació entre aquests nivells de radiació i la formació de cataractes; la còrnia i la conjuntiva, podent provocar alteracions com queratitis o pterígon, entre d'altres; i finalment, la capa externa i més exposada a aquestes radiacions, les parpelles, on podem trobar, en els pitjors casos, melanomes. Així veiem que la mateixa anatomia ocular té la capacitat de defensar-se de les radiacions més nocives, evitant que gran part d'aquestes arribin a la part més sensible de l'ull, la **retina**.

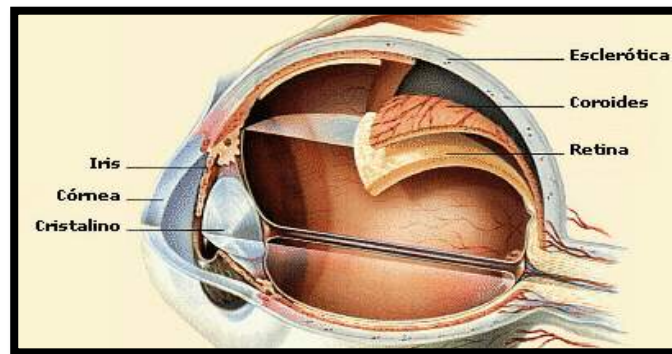


Figura 7. Anatomia de l'ull humà.

2.2.2. Radiació UV

L'Espectre dels Raigs UV (de 100nm a 380nm) és una franja de radiació molt energètica, que prové majoritàriament del sol. Està dividida en tres parts, basant-se en el potencial dels efectes biològics que ocasionen.

- **Raigs UV-A** (de 315nm a 380nm): són els que provoquen l'envelliment prematur de les cèl·lules. Estan relacionats amb l'aparició de cataractes, pingüècula i alteracions a la retina (DMAE).
- **Raigs UV-B** (de 280nm a 315nm): són causants de cremades als teixits. Poden provocar alteracions com la fotoqueratitis, cataractes corticals o eritema².
- **Raigs UV-C** (de 100nm a 280nm): són altament nocius però no arriben a la superfície terrestre perquè són filtrats en bona part per l'atmosfera.

² Eritema: lesió cutània caracteritzada per l'enrogiment que adquireix la pell a causa de fenòmens vasculars que produeixen vasodilatació.

Així doncs, la radiació UV-A i UV-B provinent del sol que arriba a la superfície de la terra contribueix a greus trastorns de salut.

Per sort, els raigs UV-C i una part dels raigs UV-B són absorbits per un capa present a l'estratosfera, anomenada Capa d'Ozó. Aquesta capa s'estén aproximadament des dels 15Km fins als 50Km d'altitud i conté el 90% d'ozó present a l'atmosfera (**figura 8**).

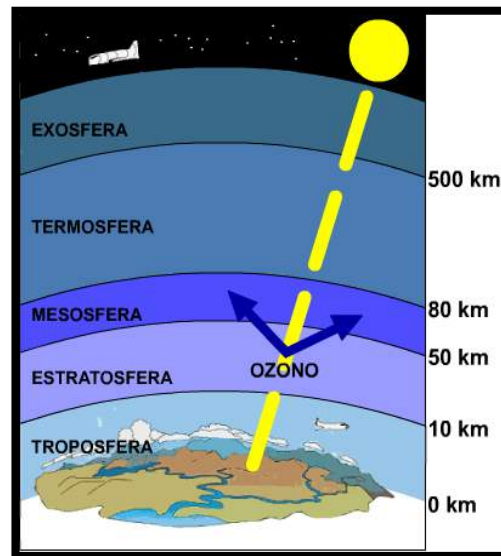


Figura 8. Capes de l'atmosfera.

Val a dir, però, que a causa d'un ús excessiu de CFC (els clorofluorocarbons és el nom genèric d'un grup de compostos que contenen clor, fluor i carboni, utilitzats com a agents que produeixen fred i com a gasos propulsors en els aerosols, principals causants de l'aprimament de la capa d'ozó), la capa d'ozó s'ha anat debilitant amb el pas dels anys, provocant en l'Antàrtida un forat d'una extensió d'uns 29.000.000 Km²(**figura 9**).

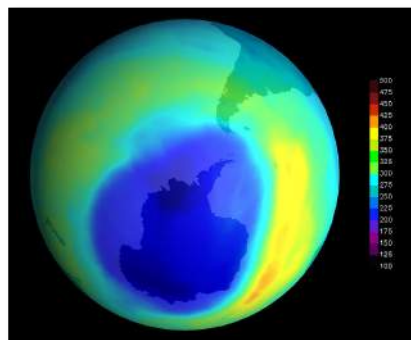


Figura 9. Forat de la capa d'ozó a l'Antàrtida.

Òbviament, aquest desgast, a més a més de problemes oculars, també provoca altres alteracions, com l'augment de casos de melanomes, per exemple.

Finalment, val a dir que en el cas de la llum visible emesa per fonts de llum artificial, si realment fos danyosa com apunten alguns estudis, no existeix cap barrera natural externa que la modifiqui i la faci menys nociva abans d'arribar a l'ull, tal com fa aquesta capa de l'atmosfera amb la llum solar.

2.2.3. Llum blava dins l'espectre visible

L'espectre de la llum visible (de 380nm a 780nm) és la regió de l'espectre electromagnètic que podem percebre, tal com indica el seu nom.

Les bandes més energètiques de la llum són les que tenen longituds d'ona més curtes, en concret, de 380nm a 482nm, que correspon al blau/violeta.

La llum que percebem blanca està formada per totes les bandes de l'espectre visible, i concretament, aquesta regió blavosa conforma un 23% del total d'aquesta llum (**figura 10**).



Figura 10. Representació de les bandes de l'espectre visible que conformen la llum blanca.

2.2.4. Mecanismes de protecció natural del sistema visual vers la llum UV i la llum blava

A causa de les propietats que presenten aquestes bandes de l'espectre electromagnètic de longituds d'ona curtes, nombrosos estudis afirmen que poden originar alteracions en determinades estructures dels éssers humans. En captar la informació visual a partir del sistema ocular, resultaria lògic pensar que l'ull i les seves estructures podrien resultar afectades per aquestes bandes de l'espectre electromagnètic.

Tot i que no existeix cap barrera natural externa de l'ull que minimitzi aquests possibles efectes danyosos d'aquesta llum, el nostre sistema visual té certs mecanismes per defensar-se:

- La màcula, la part de la retina especialitzada en la visió fina dels detalls, està recoberta per un pigment groc, compost principalment per Luteïna i Zeaxantina³, que la protegeix de la llum blava/violeta.
- Absència de fotoreceptors sensibles al blau en la zona de màxima agudeses visual de la retina.
- Esgroguement del cristal·lí (**figura 11**), per l'augment de la concentració de cromòfors⁴ grocs que absorbeixen la llum blava/violeta [Lerman, S. 1980].

A mesura que passa el temps, és obvi que acumulem més hores d'exposició davant de la llum blanca que ens envolta. La defensa natural de l'ull davant d'aquesta llum consisteix a esgrogueir el cristal·lí, perquè aquest pugui absorbir part d'aquesta radiació.

³ Luteïna i Zeaxantina: components presents en certs aliments, com en els vegetals de fulles verdes que tenen efectes fisiològics en els humans. Com que el cos humà no té la capacitat de produir-los, és necessari obtenir-los a partir de la ingesta dels aliments. La Luteïna (avaluada conjuntament amb la Zeaxantina), està específicament associada, des de fa un parell de dècades, amb un menor risc de malalties oculars associades a l'envelliment (cataractes i DMAE), ja que es creu que filtren la llum blava que la còrnia i el cristal·lí no han filtrat.

⁴ Cromòfor: part o conjunt d'àtoms d'una molècula responsable del seu color.

Així doncs, la població més jove no disposa d'aquesta protecció, de manera que els rajos UV i la llum blava els impactarien amb més força sobre la retina.

Això, tot i ser un mecanisme per protegir les estructures més internes de l'ull, no deixa de ser una alteració de la lent de l'ull que provoca canvis funcionals.



Figura 11. Esgrogueïment del cristal·lí amb el pas del temps [Lerman, S. 1980].

Com hem citat anteriorment, tot i disposar d'aquests mecanismes en el mateix sistema visual, actualment, el nostre ull està tan exposat a aquestes radiacions (i cada vegada més, amb l'ús de dispositius retro-il·luminats), que diversos investigadors han afirmat que a vegades poden ser necessàries algunes ajudes externes per prevenir els efectes nocius que ens puguin ocasionar. Parlem doncs, d'una protecció artificial en forma de filtres per ulleres, per exemple, de manera que absorbeixen de forma selectiva la llum considerada perjudicial (blau-violeta i UV), al mateix temps que deixen passar la resta de llum visible.

Ens centrarem en aquests invents innovadors en el pròxim apartat.

2.2.5. Possibles efectes de la radiació de longitud d'ona curta (UV i blava) sobre la salut ocular i el ritme circadiari

Com ja s'ha anat citant anteriorment, l'efecte d'estar exposats a radiacions de longitud d'ona curtes de l'espectre visible podria provocar efectes negatius en la salut visual.

Actualment hi ha alguns estudis científics que apunten a l'efecte negatiu que aquestes radiacions podrien tenir en la salut ocular i visual. A més, tenint en compte el gran augment en l'exposició de bona part de la població a

nombroses formes de pantalles retro-il·luminades amb LEDs dels dispositius electrònics actuals, hi ha una certa alerta sobre els possibles efectes d'aquesta radiació sobre el sistema visual humà. Els LEDs que s'utilitzen actualment tenen una forta component de llum blava, centrada en un pic d'emissió al voltant dels 450nm.

Per aquest motiu, ens centrarem a comentar els estudis més rellevants que posen de manifest els possibles efectes d'aquesta radiació de longitud d'ona curta en l'aparició de la DMAE, l'alteració del ritme circadiari, i la fatiga visual.

2.2.5.1. DMAE

2.2.5.1.1. Definició general

La Degeneració macular associada a l'edat (DMAE) és una malaltia ocular que causa pèrdua de la visió central (produint dificultat per llegir, conduir, identificar cares, ...).

Es tracta d'una malaltia degenerativa de la part central de la retina: la màcula, la que ens permet veure els petits detalls.

Nombrosos estudis han demostrat una forta associació entre l'acumulació de lipofucsina (mescla de residus metabòlics que apareixen en forma de druses⁵) en l'epiteli pigmentari de la retina (EPR) i l'aparició DMAE.

Quan la lipofucsina s'estimula per la llum, genera substàncies oxidants que acaben produint una atròfia de les cèl·lules de l'EPR i, al seu torn, dels fotoreceptors.

En la **figura 12** podem observar l'acumulació d'aquestes druses a la part posterior de l'ull, concretament a la membrana de Bruch (entre la coroides i les cèl·lules de l'EPR). El progressiu increment en el nombre i/o mida d'aquestes implica un deteriorament en aquestes cèl·lules sensibles a la llum, el que causa problemes significatius en la visió.

⁵ Druses: acumulacions de material extracel·lular groguenc compostos per lípids, que es van dipositant a la retina. No causen la DMAE, però la seva presència augmenta el risc de desenvolupar-la.

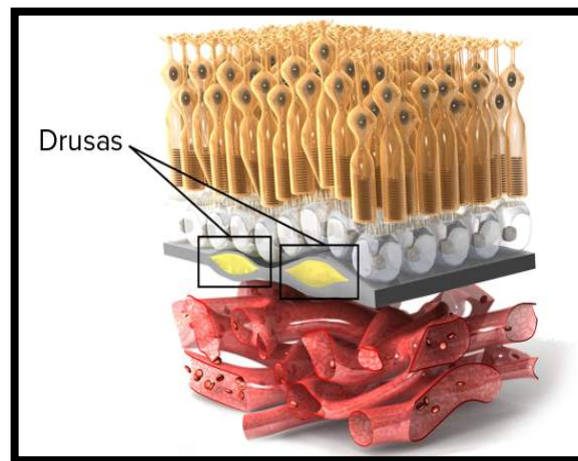


Figura 12. Acumulació de druses entre la coroides i les cèl·lules del EPR (fases inicials de la DMAE).

2.2.5.1.2. Estudis que relacionen la radiació de longitud d'ona curta amb l'aparició de la DMAE

Abans de definir amb detall aquesta malaltia, és interessant analitzar un estudi recent, on la Dra. Célia Sánchez Ramos (qui ha patentat aquests filtres protectors de la llum blava), amb l'ajuda d'un equip d'investigació vinculat a la Universidad Complutense de Madrid, alerten sobre l'efecte de la il·luminació LED: "*Effects of Light-Emitting Diode Radiations on Human Retinal Pigment Epithelial Cells In Vitro*" [Chamorro, E. et al, 2013], on s'investiga sobre la relació entre l'ús de dispositius retro-il·luminats i els efectes danyosos a la retina.

Aquest estudi va consistir principalment a exposar cèl·lules de l'epiteli pigmentari de la retina *in vitro* a diversos tipus de llum LED (llum blava, llum verda, llum vermella i llum blanca), durant tres cicles que alternaven 12 hores d'exposició i 12 hores de foscor.

Les cèl·lules sotmeses a aquestes condicions van sofrir una sèrie de danys, el que va demostrar que l'exposició a aquest tipus de llum excessiva (sobretot a la blava), provoca danys a cèl·lules de la retina posades en una placa de petri. Les condicions en què es va realitzar l'estudi de laboratori, però, diferien en gran mesura de les condicions habituals lligades al funcionament real de l'ull, sense cap barrera natural i eliminant el metabolisme retinal.

Amb la qual cosa, els resultats obtinguts no poden ser extrapolats directament al cas del sistema visual humà quan està exposat a aquestes radiacions. No obstant, han posat en alerta la comunitat científica, i ha obert un camp de recerca molt actiu actualment.

Recentment, també s'han realitzat experiments amb animals per veure l'efecte que els podia provocar la llum LED *in vivo*. Aquests estudis van encaminats a reproduir unes condicions les més comparables possibles amb els humans, tot i les seves limitacions [Sánchez-Ramos, C. 2010].

Finalment, un altre estudi, en humans, publicat el 2012 i dirigit també per la científica Celia Sánchez-Ramos, va consistir a implantar una LIO (Lent Intra-Ocular) transparent en un ull, i una LIO groga en l'ull contralateral per comparar el gruix de la màcula d'aquests, passat un temps. L'estudi, dut a terme durant 5 anys, va mostrar que hi havia una lleugera disminució del gruix macular en els ulls que portaven la lent transparent.

Així doncs, de moment no existeix cap estudi científic totalment conclouent que demostrï que la llum blava, en les condicions d'ús habituals i amb les estructures oculars pròpies dels humans, causi DMAE, perquè el fet que un factor produeixi certs efectes en unes condicions experimentals diferents de les reals no implica directament que aquest efecte es produeixi en condicions naturals quan ens exposem a aquest mateix factor.

Malgrat això, la Dra. Sánchez Ramos ha posat a disposició del mercat uns filtres per a la llum blava, descrits en el proper apartat 2.3. "Elements disponibles actualment per a la disminució dels efectes de la llum blava en el sistema visual. Filtres de llum blava", pels quals es realitza una publicitat en termes de què aquests filtres selectius són útils com a "protectors dels efectes nocius que provoca la llum", amb afirmacions com: "les lents CSR disminueixen el risc a patir DMAE per efecte de la llum violeta i blava i dels rajos UV, a la vegada que proporciona millor contrast".

2.2.5.1.3. Prevalença i factors de risc

La DMAE és la causa de pèrdua de visió i ceguera legal ($\text{Agudesa Visual} \leq 0,1$ i/o $\text{Camp Visual} \leq 10^\circ$) més freqüent entre les persones majors de 50 anys en el món occidental. La incidència és major en dones, possiblement perquè tenen una esperança de vida més alta.

Com que l'esperança de vida, tant en homes, com en dones, va augmentant en els països desenvolupats, s'espera un alt increment de casos de DMAE en els pròxims anys.

A Espanya s'estima que hi ha un 13% de persones majors de 65 anys afectades per aquesta degeneració, la qual s'associa un 70% a factors genètics i un 30% a factors ambientals. Així doncs, la DMAE es relaciona amb diversos factors de risc, entre els quals trobem: l'edat, l'herència, l'obesitat, la pressió arterial alta, fumar, certs efectes secundaris dels fàrmacs, o l'exposició als rajos UV i, recentment, hi ha estudis que també ho relacionen amb l'exposició a la llum blava.

Aquesta malaltia pot provocar grans limitacions visuals, per això és important poder-la diagnosticar a temps i seguir unes recomanacions que en molts casos podrien endarrerir la progressió d'aquesta, com:

- Seguir una dieta saludable, rica amb antioxidants, i complementar-la també amb suplementes vitamínics.
- Revisions a l'oftalmòleg, sobretot si existeixen antecedents amb DMAE. Combinar-ho també amb autoavaluacions de l'Agudesa Visual i amb la Reixeta d'Amsler de forma monocular.
- Usar filtres selectius protectors.

2.2.5.1.4. Tipus de DMAE

- **DMAE seca** (no neovascular):
Representa el 85% dels casos de DMAE i es caracteritza per tenir una evolució lenta.
La DMAE seca es produeix per l'acumulació de druses a la màcula i al seu voltant que fan que aquesta es vagi atrofiant, causant la pèrdua de visió central.

- **DMAE humida o exsudativa (neovascular):**

Aquest tipus de DMAE és menys freqüent, però és més agressiva i presenta una evolució més ràpida. No obstant, només la pateixen un 10% de les persones que sofreixen la DMAE seca (la DMAE humida és una fase posterior).

Aquesta es caracteritza per la formació de nous vasos sanguinis per sota de la retina, que formen una membrana neovascular i que acaben produint hemorràgies i la mort de les cèl·lules de la part posterior de l'ull, formant punts cecs en la visió central.

A continuació, en la **figura 13**, es poden veure representats tres fons d'ull diferents on s'observen els dos tipus principals de DMAE i una màcula sana.

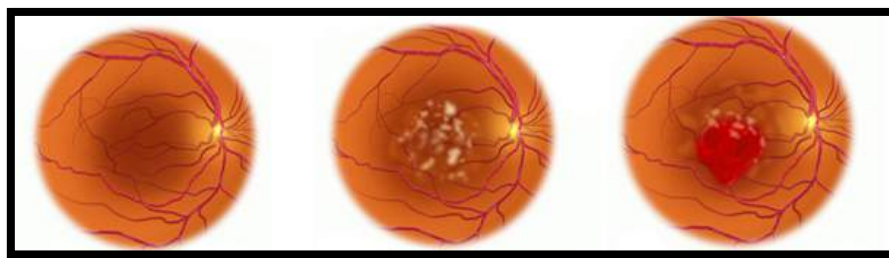


Figura 13. D'esquerra a dreta: màcula normal, màcula amb DMAE seca i màcula amb DMAE humida.

2.2.5.1.5. Síntomes

La DMAE provoca generalment una pèrdua de la visió lenta i indolora. Així doncs, al principi és possible que la malaltia sigui imperceptible, sobretot si la degeneració es produeix en un sol ull.

A mesura que aquesta va avançant, els símptomes més habituals són:

- **Disminució de la visió central i de l'Agudesia Visual.**
- **Disminució de la intensitat o de la lluentor dels colors.**
- **Visió borrosa o taca cega** en el camp visual.
- **Distorsions visuals.** Les línies rectes es veuen ondulades, tortes, ...

2.2.5.2. Alteració del ritme circadiari

2.2.5.2.1. Definició general

Com a ritme circadiari (del llatí “circa” que significa al voltant, i “diem” que significa dia) s'entén un ritme biològic de canvis físics i fisiològics que es repeteix cada 24 hores i afecta tant a humans, com a animals i a plantes.

També se'l coneix com a “rellotge biològic” i és endogen (està programat internament per l'organisme), tot i que també es pot veure afectat per agents externs, els quals provoquen canvis i possibles trastorns en la salut.

Un d'aquests factors externs és la llum. Quan la llum visible entra al nostre sistema visual, a banda de permetre'ns la visió, es produeix una excitació de la melanopsina (un fotopigment present a la retina, que és més sensible a la llum blava/lila amb un pic d'absorció al voltant dels 470nm), que li envia un senyal al cervell perquè la glàndula pineal disminueixi la producció de melatonina (“hormona de la son”) (**figura 14**). D'aquesta manera, en presència de llum blava, l'organisme manté el seu estat d'alerta i concentració. Quan el sistema visual deixa de rebre radiació de longitud d'ona curta, s'activa la producció de melatonina, i el cos rep els senyals adequats per activar l'estat de descans.

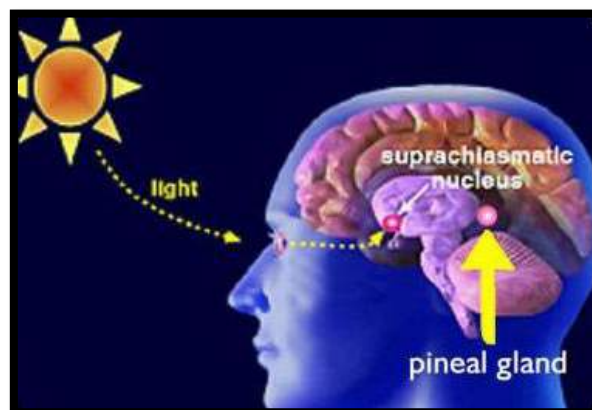


Figura 14. Glàndula pineal, situada enmig del cervell i encarregada de la segregació de la melatonina.

2.2.5.2.2. Estudis que relacionen l'ús de dispositius retro-il·luminats amb l'alteració del ritme circadiari

S'han realitzat nombrosos estudis per esbrinar si el control de la producció de la melatonina es veu afectat per l'ús dels dispositius retro-il·luminats.

Segons una investigació duta a terme per l'Institut Politècnic Rensselaer, on 13 participants s'exposaven a tauletes retro-il·luminades en tres condicions diferents (sense cap filtre, amb unes ulleres d'absorbància selectiva dels blaus, i amb unes ulleres que contenien LEDs blaus), s'observà que, transcorregudes dues hores, hi havia una major concentració de melatonina amb l'ús de les ulleres d'absorbància selectiva [Wood, B. et al, 2013].

Altres estudis, on quedaven excloses les noies (per evitar possibles influències dels processos menstruals), un seguit de nois adolescents s'exposaven a tauletes durant les hores prèvies a dormir. Aquest experiment també mostrava una major producció de melatonina associada a l'ús de les ulleres amb filtre d'absorbància als blaus [Van der Lely, S. et al, 2014].

Amb aquests estudis s'ha corroborat que l'ús dels aparells retro-il·luminats al final del dia pot tenir efectes negatius en el ritme biològic. Habitualment, unes dues hores abans d'anar a dormir, el nostre cervell comença a produir melatonina per avisar de l'hora de descansar. Però amb l'ús de pantalles electròniques, el procés es veu alterat, i l'organisme es manté en alerta sense activar la producció de l'hormona de la son.

El nostre ritme circadiari interpreta de la mateixa manera la llum blava del cel a les deu de matí i la llum blava d'una pantalla a les dotze de la nit, el que ocasiona que l'ús d'aquests aparells unes hores abans d'anar a dormir provoqui efectes biològics negatius, segons estudis realitzats a l'Escola de Medicina de Harvard, i publicats a la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS), [Chang, A-M. et al, 2014]. Així doncs, resulta lògic que aquests dispositius ens puguin alterar els patrons de la son.

També s'han fet altres experiments amb nombrosos participants, on, a partir de la saliva, es podia mesurar la quantitat de melatonina que segregaven en un transcurs de temps, davant d'un dispositiu retro-il·luminat [Wood, B. et al. 2013]. El resultat mostrava que la supressió de melatonina era més elevada a mesura que s'estava més temps exposat al dispositiu.

Així doncs, molts estudis defensen la idea que l'ús de dispositius electrònics retro-il·luminats les hores abans d'anar a dormir, pot afectar negativament els ritmes biològics, alterant el son, la vigília i el ritme circadiari.

Val a dir, però, que existeixen varietat d'opinions enfront d'aquest tema, ja que també trobem articles que defensen els efectes positius d'aquesta llum blava, per a ser utilitzada com un sistema d'ajuda per l'augment de la concentració i del rendiment, "anti-jet lag", o per contrarestar els problemes de somnolència davant del volant, entre d'altres [Sanz, E. 2015].

El que sembla bastant provat és que la llum blava inhibeix la producció de melatonina per la glàndula pineal. El que canvia, però, és l'ús que se li vulgui donar a aquesta propietat, ja que hi ha qui ho veu com un efecte negatiu en el ritme biològic, i qui ho considera una oportunitat per vendre productes que augmenten la concentració i el rendiment sense haver de recórrer a la cafeïna o a complements energitzants.

2.2.5.3. Fatiga visual per l'ús de pantalles electròniques

Per altra banda, hi ha molts estudis que posen de manifest que l'ús d'aquests dispositius sol anar associat a la sequedat ocular i a la fatiga visual.

El Dr. Portello, juntament amb els investigadors Chu i Rosenfield, van realitzar un estudi on es demostrava que en llegir en pantalles digitals es produeix una clara tendència a no realitzar parpellejos complets, impeding que es mantingui la quantitat adequada d'humitat en la superfície de l'ull i provocant símptomes d'ull sec i malestar si estem moltes hores davant dels dispositius.

2.2.5.3.1. Síndrome Visual Informàtica (SVI)

És freqüent patir símptomes visuals molestos, com fatiga visual, picor i ull sec, envermelliment ocular, hipersensibilitat a la llum o visió borrosa, a l'estar exposats a pantalles d'ordinador durant períodes prolongats i ininterromputs de temps. Aquesta afecció se la coneix com a Síndrome Visual Informàtica (SVI) i és un tema d'interès actual del qual ja s'ha realitzat a la FOOT més d'un estudi i projecte previ a aquest, també relacionat amb els possibles efectes danyosos de les pantalles retro-il·luminades ("Estudio de las características del parpadeo, y su relación con los movimientos sacádicos, en distintas condiciones controladas de lectura" de Margarita Rodríguez Montiel o "Valoración de la frecuencia y la regularidad del parpadeo en usuarios de tableta, con y sin la incorporación de un filtro de absorbanza selectiva" de Lidia Tapia López).

Aquest problema és un dels més freqüents en l'àmbit laboral en els països desenvolupats, ja que les Pantalles de Visualització de Dades (PVD) s'han convertit en els últims anys en una eina de treball habitual a la qual s'hi ha d'accedir constantment.

Però no només són vulnerables a patir la SVI els adults que treballen en aquestes condicions, també poden resultar afectades totes aquelles persones que usen constantment algun d'aquest tipus de dispositiu retro-il·luminat (mòbil, tauleta, consoles, ...).

Segons un estudi realitzat pel Col·legi Oficial d'Òptics i Optometristes de Catalunya, on s'analitzaven 1400 individus d'edats compreses entre els 14 i 70 anys, s'afirma que actualment els casos de persones amb SVI se situa en un 70%.

2.2.5.3.2. Estudis que relacionen l'ús dels dispositius retro-il·luminats amb la SVI

Són nombrosos els estudis i els articles publicats que relacionen l'ús dels dispositius retro-il·luminats amb l'aparició de molèsties temporals en la visió.

Una possible causa d'aquests símptomes molestos durant la utilització d'aquests dispositius és la disminució de la freqüència del parpelleig, entre un 32%-42% respecte a condicions normals [Schlote, T. et al, 2004; Chu, C.A. et al, 2004].

Altres estudis, com hem citat anteriorment, defensen que la causa principal d'aquestes molèsties és deguda als parpellejos incomplets, no tant a la freqüència d'aquests.

No obstant, tots els autors semblen estar d'acord en el fet que l'ús prolongat de dispositius retro-il·luminats causa les molèsties i els símptomes molestos propis de la SVI.

2.2.5.3.3. Recomanacions per disminuir els efectes de les pantalles

Moltes vegades és necessari l'ús d'aquests dispositius durant llargues estones. Existeixen diversos estudis i articles d'ajuda que ofereixen consells i solucions per poder combatre la SVI.

- Tenir una bona il·luminació ambiental i evitar els reflexos molestos de fonts lluminoses externes a la pantalla, tal com mostra la situació de la **figura 15**.

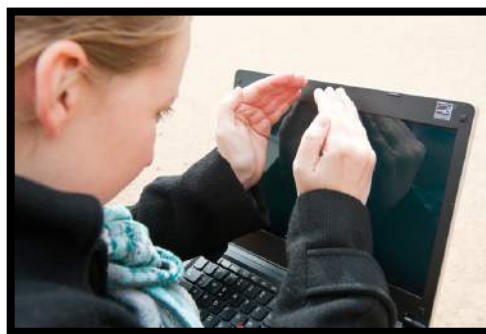


Figura 15. Pantalla d'ordinador amb reflexos lluminosos.

- Per tal d'evitar que els músculs oculars estiguin bloquejats sempre a la mateixa distància d'observació, s'aconsella anar variant la distància d'enfocament, amb la regla del 20-20-20. Aquesta consisteix a apartar la mirada de la pantalla cada 20 minuts, durant 20 segons, enfocant a uns 20 peus (6 metres).

Tanmateix, anar fent pauses de 15 minuts cada 2 hores.

- Realitzar parpelleigs voluntaris o tancar els ulls durant uns 20 segons de tant en tant, per evitar els símptomes d'ull sec.

Utilitzar llàgrima artificial en cas necessari i intentar evitar l'ús de lents de contacte.

- Per alleugerir els efectes de la SVI, és convenient portar la correcció visual actualitzada.

- Treballar en condicions de confort i ergonòmicament correctes també és important. Així, les recomanacions ergonòmiques aconsellen, tal com es mostra en la **figura 16**, que els peus descansin plans a terra i que l'alçada de la taula permeti un angle de 90° o més entre el braç i l'avantbraç. Davant d'un ordinador és recomanable estar a una distància d'uns 50-70cm de la pantalla i amb l'extrem superior d'aquesta a l'alçada dels nostres ulls, per tal de mirar la pantalla lleugerament cap avall. En el cas de mòbils o tauletes s'haurien de situar a uns 35cm i 40cm de la nostra vista respectivament.

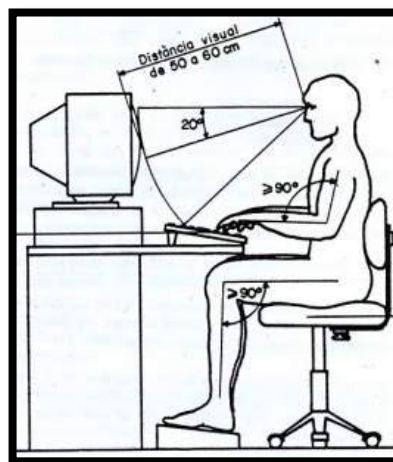


Figura 16. Consells d'ergonomia visual durant l'ús d'ordinadors.

- Usar filtres d'absorbància selectiva del blau, comercialitzats per les indústries amb la idea que proporcionen millores en el contrast, permeten una visió més còmode i protegeixen dels possibles efectes nocius d'aquestes pantalles.

2.3. Elements disponibles actualment per a la disminució dels efectes de la llum blava en el sistema visual. Filtres de llum blava

2.3.1. Introducció

Com hem citat anteriorment, no existeix cap barrera natural externa al nostre sistema visual que impedeixi el pas de la llum blava/violeta a l'interior d'aquest (per exemple, tal com fa la capa d'ozó amb gran part de la radiació UV provinent del sol) i eviti o redueixi els possibles efectes nocius d'aquesta radiació sobre l'organisme. Tot i que, recordem, sí que alguns elements interns de l'ull ja funcionen com a mecanismes de protecció davant d'aquesta radiació. Per tant, si el nostre sistema visual està exposat a aquest tipus de radiació, i amb els nous dispositius electrònics, l'exposició és més prolongada i es realitza a qualsevol hora del dia, pot ser important disposar d'elements que en redueixin la seva incidència a l'ull.

Tal com hem vist a través de la mesura dels espectres de pantalles retro-il·luminades per LEDs, aquestes no emeten radiació en la UV, però sí que tenen un màxim d'emissió de llum blava (veure **gràfica 1**). Alguns treballs [Sánchez-Ramos, C. 2010; Sánchez-Ramos, C. 2012] proposen utilitzar certs filtres selectius que redueixin aquesta radiació en la zona blava de l'espectre quan s'utilitzen pantalles electròniques.

Bàsicament trobem tres propostes comercials diferents d'elements que redueixen la llum blava provinent de les pantalles retro-il·luminades:

- Filtres selectius en forma de làmines que se superposen a les pantalles (làmines Reticare).
- Aplicacions informàtiques (Apps) que controlen i modifiquen l'emissió de les pantalles.
- Filtres selectius incorporats a lents oftàlmiques.

Els descriurem a continuació.

2.3.2. Tipus de filtres

2.3.2.1. Làmines superposades a les pantalles electròniques.

Làmines Reticare

Són làmines flexibles que es col·loquen fàcilment sobre la pantalla dels dispositius retro-il·luminats, com s'observa en la **figura 17**. La seva mida s'adapta a diferents dispositius, com pantalles d'ordinador, telèfons mòbils o tauletes. Es comercialitzen amb diferents nivells de protecció, baix, mitjà, alt i intens, en funció de l'edat de l'usuari i les hores d'ús del dispositiu.



Figura 17. Làmina amb filtre d'absorció de la llum blava.

L'ús d'aquests filtres té bàsicament la funció de replicar en certa mesura la foto-protecció natural de l'ull, ja sigui per reforçar les defenses fisiològiques oculars, o per reemplaçar-les en el cas que hagin estat eliminades (cirurgia de cataractes) o perquè es trobessin deteriorades per l'edat.

Tal com figura en la documentació que acompanya els filtres d'absorbència selectiva de la Dra. Sánchez-Ramos, s'aposta per no renunciar a utilitzar les noves tecnologies retro-il·luminades amb LEDs, però mitjançant la utilització del filtre adient, l'usuari aconseguirà a curt termini, un benefici funcional, oferint una millora del contrast, reduint la fatiga visual i els enlluernaments, i millorant la profunditat espacial. I per una altra banda, a llarg termini, aconseguirà un benefici estructural, reduint el possible procés neuro-degeneratiu en el sistema visual.

Existeixen, però, estudis que posen en qüestió aquests beneficis i ho qualifiquen de negoci basat en sembrar la por [Bernaro, A.; Lacort, J., 2014].

2.3.2.2. Aplicacions informàtiques (Apps) per dispositius electrònics

Mitjançant un software instal·lat al dispositiu en ús, és possible variar la paleta de colors mostrada per la pantalla retro-il·luminada, disminuint la component blava/lila en el cas que es vulgui reduir la fatiga visual o evitar possibles desajustos del ritme circadiari.

Aquestes aplicacions tenen com a principal avantatge que no requereixen l'adquisició de cap element addicional, i des del mateix dispositiu es pot controlar en tot moment la radiació emesa per la pantalla. Així, és possible, fins i tot, canviar progressivament el to blavós de la llum de la pantalla a mesura que progressa el dia per evitar problemes en el cicle de la son. L'aplicació "F.lux" ha estat creada amb aquest objectiu (**figura 18**); s'encarrega d'anar variant automàticament la paleta de colors i els va fent més càlids a mesura que va avançant el dia.

Aquestes aplicacions, també conegudes com a apps, són molt recents i n'apareixen de noves amb relativa facilitat. Tot i que les primeres a aparèixer estaven específicament dissenyades per pantalles d'ordinador, recentment també n'han aparegut per mòbils i tauletes.

L'estudi d'aquestes aplicacions serà motiu d'un altre treball final de grau.



Figura 18. Comparativa d'una captura de pantalla d'un ordinador amb l'ús de l'aplicació "F.lux", durant el dia i a mesura que aquest va avançant.

2.3.2.3. Tractaments superficials en lents oftàlmiques

En una altra línia d'actuació, també trobem comercialitzades lents oftàlmiques que inclouen filtres de protecció per a la llum blava (**figura 19**). L'estudi i anàlisi d'aquests filtres constitueix l'objectiu principal d'aquest treball.

Diverses cases comercials ofereixen l'opció d'incorporar un filtre de llum blava en els vidres oftàlmics amb l'objectiu d'augmentar el confort i reduir la fatiga visual quan s'utilitzen prolongadament pantalles electròniques. En la majoria de casos, aquests filtres es caracteritzen per tenir un to groguenc, propi d'haver eliminat o reduït la component blava de l'espectre visible.

És important fer notar que, a l'hora de comercialitzar aquests vidres oftàlmics, els usuaris mostren certes reticències a incorporar lents amb tonalitats cromàtiques molt marcades, i preferiblement s'escullen lents el més transparent possibles.

Dins les cases proveïdores de lents oftàlmiques, trobem diverses lents amb filtres blaus (veure **Annexos**):

- Indústries d'Òptica Prats: lents **CSR**
- INDO: amb les lents **Energy**.
- Hoya Corporation: lents **Blue Control**.
- Essilor International: lents **Crizal Prevencia**.

Les detallem breument a continuació.



Figura 19. Lent amb filtre d'absorció de la llum blava.

Unes de les més conegudes són les distribuïdes per la Indústria d'Òptica Prats, les Lents **CSR**, patentades i certificades per la Dr. Cèlia Sánchez-Ramos (d'aquí les sigles "CSR", donant el nom també a les lents que ofereixen el "Certificat de Seguretat Retiniana").

Actualment, aquest tractament suposa un suplement sobre la lent antireflexant sense reducció, de 24,30€ en monofocals i de 49,30€ en lents progressives, per cada lent.

Podem trobar tres nivells segons les necessitats de cada persona:

- Lents **CSR**: és el primer nivell i té simplement una funció preventiva. Està indicada per situacions amb intensitat lumínica baixa i mitja.
- Lents **CSR 2a**: és el segon nivell, i a més de la funció preventiva, també la presenten com a una lent idònia per protegir retines sensibles. Està indicada per situacions amb intensitat lumínica mitja i alta.
- Lents **CSR 2b**: és el tercer nivell i presenta les mateixes característiques que l'anterior, però amb un to més fosc, oferint una major atenuació al llarg de tot l'espectre visible. S'aconsella el seu ús especialment per exteriors o ambients d'alta lluminositat.

La indústria INDO també va llençar al mercat les lents **Energy** amb el mateix objectiu d'atenuar les radiacions de baixa longitud d'ona.

Aquesta lent també conté el tractament antireflexant per evitar reflexos, endurit per evitar ratllades, hidròfob i lipòfob per repel·lir l'aigua i la brutícia, i antiestàtic per evitar que s'adhereixi la pols a la lent.

A més, a més, com a innovació, el fabricant assegura que aquestes lents també protegeixen enfront de la radiació infraroja provinent del sol.

En aquest cas, el tractament suposa un suplement de 30€ sobre la lent antireflexant.

La companyia Hoya va anomenar la lent **Blue Control**, tal i com el seu nom indica, amb propietats filtrants de la llum blava.

El missatge que transmet el fabricant és el d'una lent dissenyada per tenir un confort màxim en el món digital, ja que la seva funció és neutralitzar la llum blava emesa per pantalles digitals, prevenint la fatiga i l'estrès visual, així com l'insomni.

També proporciona les propietats d'antireflexant, endurit, hidròfob, lipòfob i antiestàtic.

Aquesta casa comercial ofereix el tractament Blue Control per 40€ respecte la lent antireflexant.

Finalment, Essilor també és una de les indústries de lents que més ha promogut aquest producte innovador, amb la seva lent **Crizal Prevencia**.

El missatge que transmeten està enfocat a la necessitat d'un ús continu d'aquesta lent, ja que alerten que estem exposats en tot moment a aquests efectes nocius per la salut, en exteriors pels rajos UV del sol, i en interiors per la llum blava/violeta.

També proporcionen les propietats beneficioses per tenir una visió més clara, com en les lents anteriors.

Aquesta companyia ofereix el tractament per un suplement de 13€ respecte a la lent antireflexant.

Cal comentar en aquest punt que, a banda de trobar diverses lents oftàlmiques, també existeix la possibilitat d'incorporar filtres blaus CSR en lents de contacte (**figura 20**). Aquestes lents són comercialitzades per la casa Servilens. Actualment el mercat ofereix el model **Lens 55º UV CSR**.



Figura 20. Lent de Contacte amb filtre d'absorció de la llum blava.

3. Objectius i hipòtesi

Els objectius a assolir en aquest estudi són:

- Comprovar que la retro-il·luminació LED presenta un pic d'emissió en la zona dels blaus de l'espectre visible.
- Comprovar que els filtres d'absorbància selectiva incorporats en les lents oftàlmiques que s'estan comercialitzant amb la funció d'eliminar l'excés de llum blava i violeta, compleixen realment aquesta fita.
- Realitzar la comparació de les diferents lents d'un mateix fabricant a les que hem tingut accés, quan aquestes proporcionin diferents nivells de filtratge.
- Comparar les lents de diferents proveïdors que presenten aquest filtre selectiu de la llum blava, per analitzar si existeixen diferents graus d'absorbància entre ells.
- Participar en la realització de mesures experimentals que conduïxin a l'anàlisi d'aquestes lents, i a avaluar la seva efectivitat.
- Analitzar els estudis existents que investiguen la influència d'aquests filtres en la possible aparició de la DMAE i en l'alteració del ritme circadiari.

Tanmateix, a partir de la bibliografia consultada i d'acord amb els objectius d'aquest projecte, proposem la següent hipòtesi:

- Les lents oftàlmiques comercialitzades com a elements que redueixen la radiació blava/lila de les pantalles retro-il·luminades, filtren, en certa mesura, la radiació en la banda de longituds d'ona curta de l'espectre visible.

4. Metodologia

4.1. Material

4.1.1. Sistema d'il·luminació

Per tal de mesurar el grau de filtratge de la radiació blava de les lents oftàlmiques analitzades es va utilitzar una pantalla retro-il·luminada amb tecnologia LED. La pantalla escollida va ser un iPad mini ME280TY/A (tauleta d'Apple), amb una matriu de LEDs RGB (vermells, verds i blaus) (**figura 21**). La distribució d'aquests LEDs, es pot observar en la imatge captada pel microscopi de la **figura 22**. En ella es veuen tots ells en funcionament, ja que es mostrava una imatge completament blanca que ocupava tota la pantalla de la tauleta. En visualitzar des de certa distància (la distància habitual de lectura en una tauleta retro-il·luminada), s'integra l'efecte individual dels píxels, i es visualitza una pantalla blanca com la que es mostra a la **figura 21**.



Figura 21. Tauleta retro-il·luminada d'Apple (iPad mini ME280TY/A).

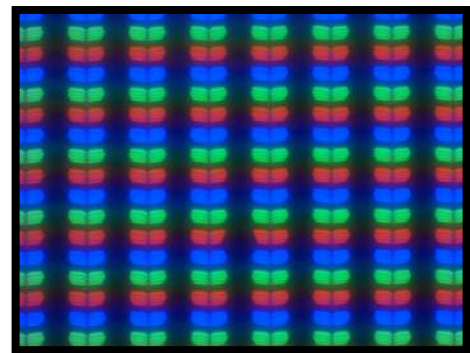


Figura 22. Vista en microscopi (200x) dels LEDs RGB que formen la pantalla de l'iPad.

Es va escollir aquesta tauleta perquè disposa d'un sistema de retro-il·luminació per LEDs, que tal com es veu en la **gràfica 2**, presenta un màxim d'emissió en la zona blava de l'espectre (aprox. 450nm). Aquesta font de llum va ser utilitzada en totes les mesures de l'espectre de transmissió de les lents, per la qual cosa el seu espectre inicial serveix de comparació per veure la radiació filtrada per les lents que s'hi van superposar.

En totes les mesures realitzades la il·luminació de la pantalla era la màxima permesa pel dispositiu, que estava endollat al corrent elèctric, i mostrava sempre una fotografia blanca que ocupava tota la pantalla per assegurar la màxima emissió del conjunt de LEDs RGB.

A més, totes les llums del laboratori es van apagar durant la realització de les mesures, assegurant que l'única font de radiació fos la tauleta emprada.

4.1.2. Espectroradiòmetre. Mesures radiomètriques i fotomètriques

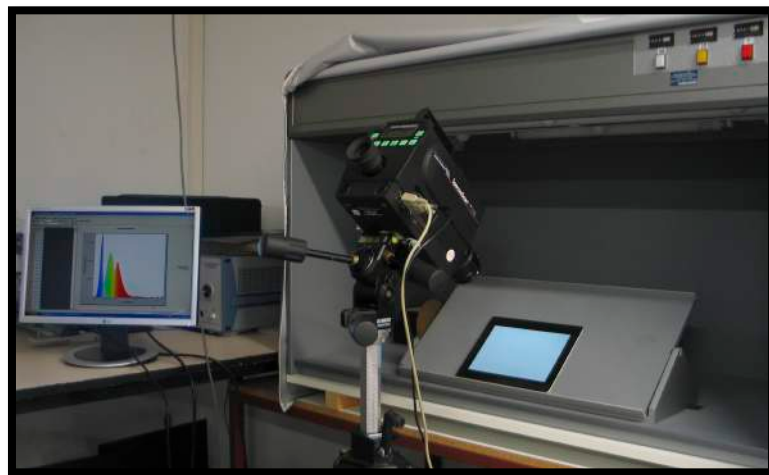


Figura 23. Espectroradiòmetre i sistema de muntatge.

La corba de radiància espectral mostrada en la **figura 24**, i la resta de corbes que es mostraran en el treball, van ser obtingudes amb l'espectroradiòmetre "Photo Research PR-715".

El muntatge per a la realització de les mesures es mostra en la **figura 23**. La tauleta actuant de font d'il·luminació es trobava sobre un suport que permetia que la seva superfície, i la superfície del sensor de l'espectroradiòmetre es trobessin encarats i paral·leles entre si.

Un software proporcionat pel mateix fabricant de l'espectroradiòmetre va permetre la realització de les mesures, i el seu posterior anàlisi. La **figura 24** mostra diverses pantalles del software *SpectraWin* emprat. Aquest aplicatiu informàtic permet obtenir les dades numèriques de la radiància espectral de la font de llum i altres paràmetres radiomètrics, fotomètrics i colorimètrics, com la radiància total de la font d'emissió, la luminància, i les coordenades cromàtiques en diversos sistemes de mesura.

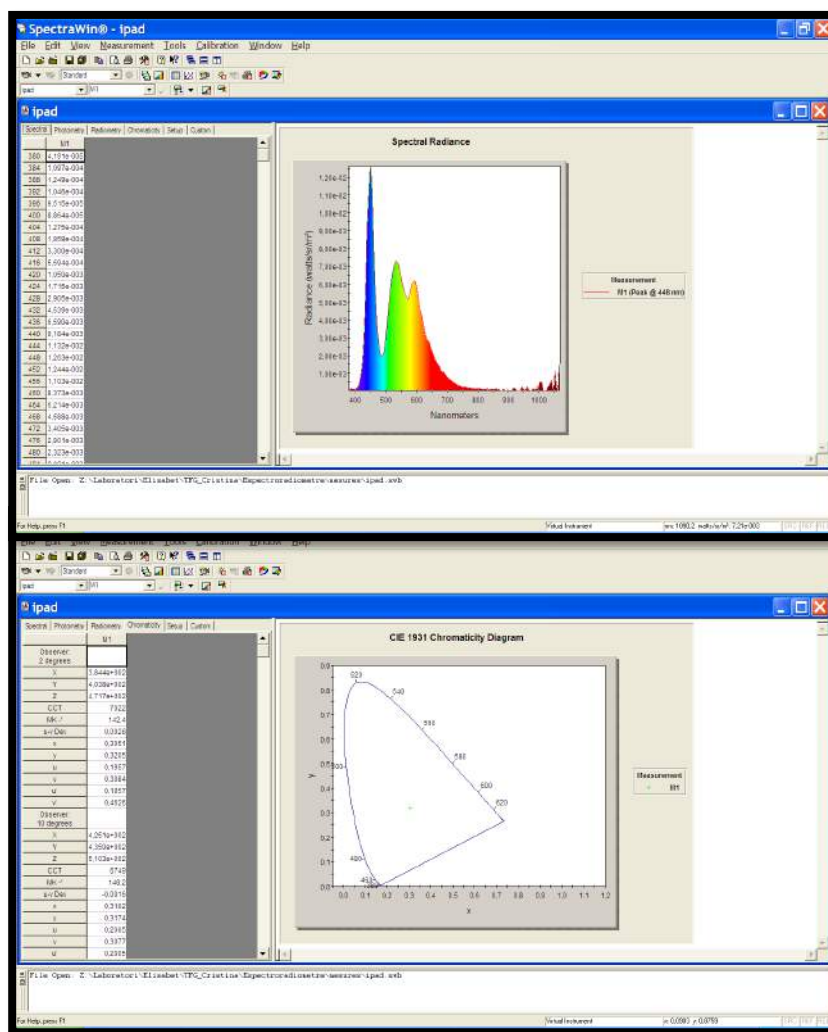


Figura 24. Pantalles de l'aplicatiu de control de l'espectroradiòmetre, on es veuen algunes de les mesures obtingudes en el procés d'anàlisi d'emissió de la tauleta gràfica.

4.1.3. Lents

En la **taula 1** es mostren les lents de les quals es va poder disposar per fer les mesures, segons el fabricant i el tractament. En la taula, s'inclou el nombre de mostres, la casa comercial que les facilita i el tractament: o bé antireflexant, o bé un filtre de llum blava.

Algunes d'aquestes lents van ser cedides pels propis usuaris i altres van ser facilitades pels mateixos proveïdors de vidres.

Tractament	Nº mostres	Antireflexant	Filtre llum blava
Prats	4	SÍ	SÍ (3 nivells)
Indo	2	SÍ	SÍ
Hoya	1	NO	SÍ
Essilor	2	SÍ	SÍ

Taula 1. Mostres de lents oftàlmiques analitzades en aquest estudi.

4.1.3.1. Prats (figura 25)

- Antireflexant (MCV, "Multi-Capa amb Verd residual")
- Filtre protector de la llum blava (CSR)
- Filtre protector de la llum blava nivell 2 (CSR 2a)
- Filtre protector de la llum blava nivell 3 (CSR 2b)



Figura 25. D'esquerra a dreta: Lent MCV, CSR, CSR 2a i CSR 2b.

4.1.3.2. Indo (figura 26)

- Antireflexant (Natural)
- Filtre protector de la llum blava (Energy)



Figura 26. D'esquerra a dreta: Lent Natural i Energy.

4.1.3.3. Hoya (figura 27)

- Filtre protector de la llum blava (Blue Control)



Figura 27. Lent Blue Control.

4.1.3.4. Essilor (figura 28)

- Antireflexant (Crizal)
- Filtre protector de la llum blava (Crizal Prevencia)

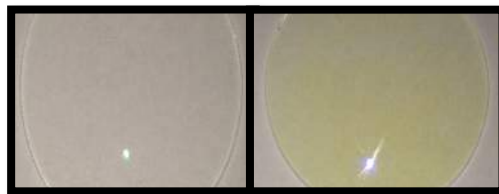


Figura 28. D'esquerra a dreta: Lent Crizal i Crizal Prevencia.

4.2. Mètode

Davant de la font d'il·luminació (tauleta amb imatge uniforme blanca), es van superposar les lents oftàlmiques de les que es disposava com a mostres a analitzar. La majoria de lents eren neutres, per tal d'evitar cap efecte de la potència refractiva en la mesura de l'espectre de transmissió. Es va analitzar també l'efecte de la curvatura de les superfícies de la lent, obtenint l'espectre de transmissió de la lent quan aquesta es situava amb la curvatura convexa o còncava en contacte amb la tauleta. Es va determinar que el possible efecte de girar la lent davant la tauleta en la mesura de l'espectre de transmissió era inapreciable, de forma que es va optar per situar la lent amb la curvatura convexa cap a la pantalla, per reproduir més fidelment la situació d'emprar aquesta lent davant de l'ull d'un usuari que visualitza informació en la pantalla electrònica.

La informació que proporciona l'espectroradiòmetre "Photo Research PR-715" consisteix en l'espectre de transmissió entre les longituds d'ona 380 i 1068nm, amb mesures cada 4nm. Les gràfiques que es representen en aquest treball es limiten a l'espectre visible (380-780nm), per tal d'analitzar l'efecte dels filtres blaus en aquesta regió, i més concretament, en la regió de longituds d'ona curta, corresponents als blaus/violetes.

Totes les mesures es van realitzar en una mateixa sessió per tal d'assegurar que es realitzaven amb les mateixes condicions experimentals, i que la font de llum emprada tingués unes característiques aproximadament constants.

4.3. Implicacions ètiques

El treball realitzat és un treball estrictament de laboratori sense la participació de pacients ni usuaris.

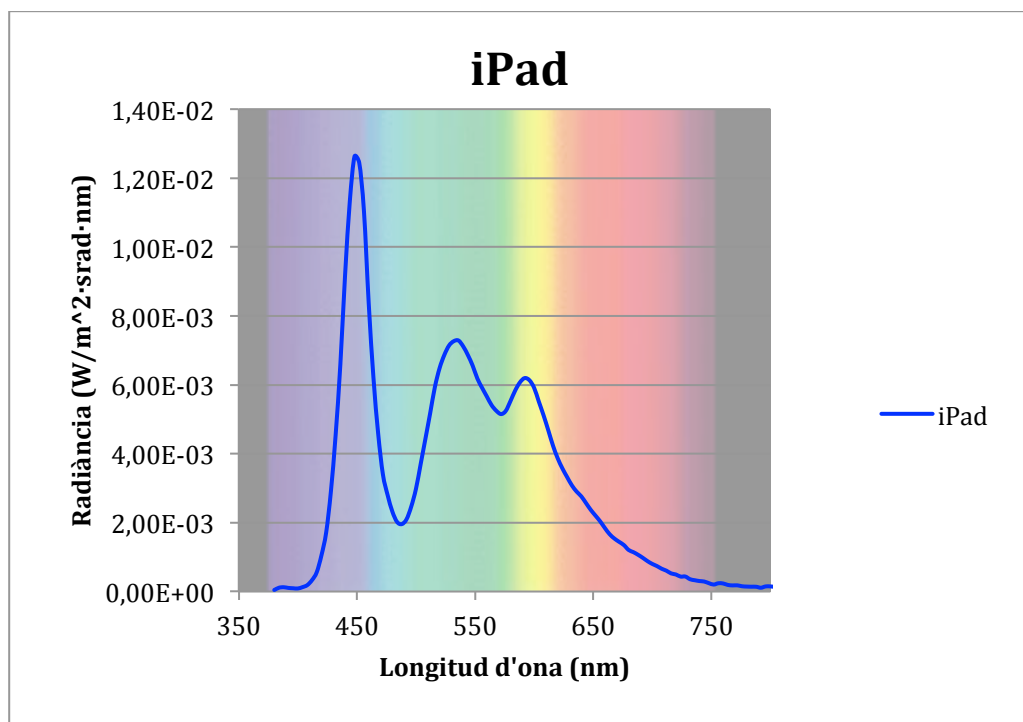
Els autors del treball no tenen cap interès comercial en les cases fabricants de les lents oftàlmiques analitzades com a mostres.

5. Resultats i discussió

Per poder analitzar el percentatge de radiació filtrada per les lents oftàlmiques amb tractaments de filtre de blau es va procedir a representar gràficament les dades radiomètriques (de l'iPad amb la imatge uniforme blanca i d'aquest mateix amb lents oftàlmiques superposades davant de la pantalla) obtingudes amb l'espectroradiòmetre, i a calcular el percentatge de llum transmesa en el màxim de transmissió de llum blava de l'iPad, comparant l'espectre de la tauleta sense cap lent superposada, i l'espectre amb la lent situada sobre la tauleta.

5.1. iPad

Partint de les dades de l'espectre electromagnètic (en el visible) de l'iPad amb la imatge blanca uniforme, sense cap lent oftàlmica superposada, s'obté la **gràfica 2**.



Gràfica 2. Corba de radiància espectral de l'iPad amb imatge uniforme blanca i il·luminació màxima.

En aquesta gràfica es mostra clarament un pic màxim d'emissió de $0,01263 \text{ W/m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \text{nm}$ en els 448 nm , ja que la retro-il·luminació d'aquesta tauleta és amb LEDs i, com ja hem dit anteriorment, aquests tenen una forta component de llum blava/violeta.

Aquest pic de màxima radiància es va atenuant fins que arriba a un mínim relatiu de $0,001957 \text{ W/m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \text{nm}$ als 488 nm , pertanyent a un color verd-turquesa, on la component és molt més feble.

La corba torna a tenir dos màxims relatius als 536 nm i als 592 nm , corresponents a un verd fort i un grog-ataronjat respectivament, el que significa que aquest dispositiu també emet amb una forta component d'aquests colors (si bé molt menys que la component blavosa). Aquests dos pics corresponen als màxims de radiació emesa pels LEDs verds i vermells constituents del sistema d'il·luminació. Finalment, l'espectre mesurat es torna a atenuar en la zona dels vermells fins a arribar a una radiància mínima en el traspàs de l'espectre visible als raigs infrarojos (780 nm).

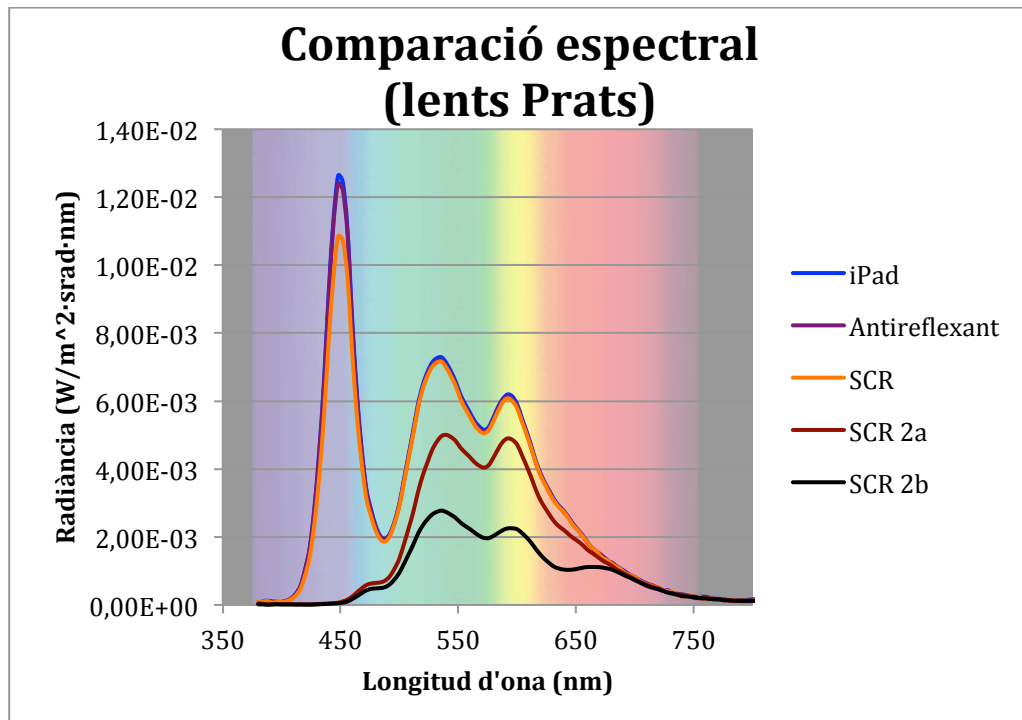
Un cop analitzades les components que conformen l'espectre visible de l'iPad i havent obtingut els resultats esperats segons l'estudiat fins ara, es va passar a representar i a analitzar els efectes de superposar les lents esmentades anteriorment davant d'aquesta tauleta.

5.2. Comparativa

5.2.1. Diferents lents d'un mateix fabricant

5.2.1.1. Prats

En la **gràfica 3** es van representar les corbes de radiància espectral de les diferents lents de Prats superposades a l'iPad. Per una banda, tenim una lent amb un tractament antireflexant, i per altra, 3 nivells de protecció diferent de filtres blaus: CSR, CSR 2a i CSR 2b, en ordre creixent de protecció.



Gràfica 3. Comparació de les corbes de radiància espectral de les diferents lents de Prats, superposades a l'iPad amb imatge uniforme blanca.

En la **gràfica 3** podem observar en primer lloc que la lent que només té un tractament antireflexant, sense filtre blau, obté un espectre de transmissió pràcticament idèntic a l'espectre d'emissió de l'iPad que mostra la imatge blanca uniforme. En el pic d'emissió màxima (blau/lila), l'absorció de la lent amb tractament antireflexant és més pronunciada que en la resta de l'espectre, absorbint aproximadament un 1,8%. Aquesta quantitat tan petita és pràcticament imperceptible en usar la lent.

Per altra banda, totes les corbes corresponents a les lents amb filtres blaus de diferents intensitats mostren uns espectres de transmissió amb diferents nivells d'atenuació de les components espectrals. La transmissió de les lents amb filtres blaus es redueix, en general, en tot l'espectre visible, si bé és en la zona dels blaus, que aquesta disminució és més accentuada. L'atenuació de la radiació és creixent amb el nivell de protecció de les lents.

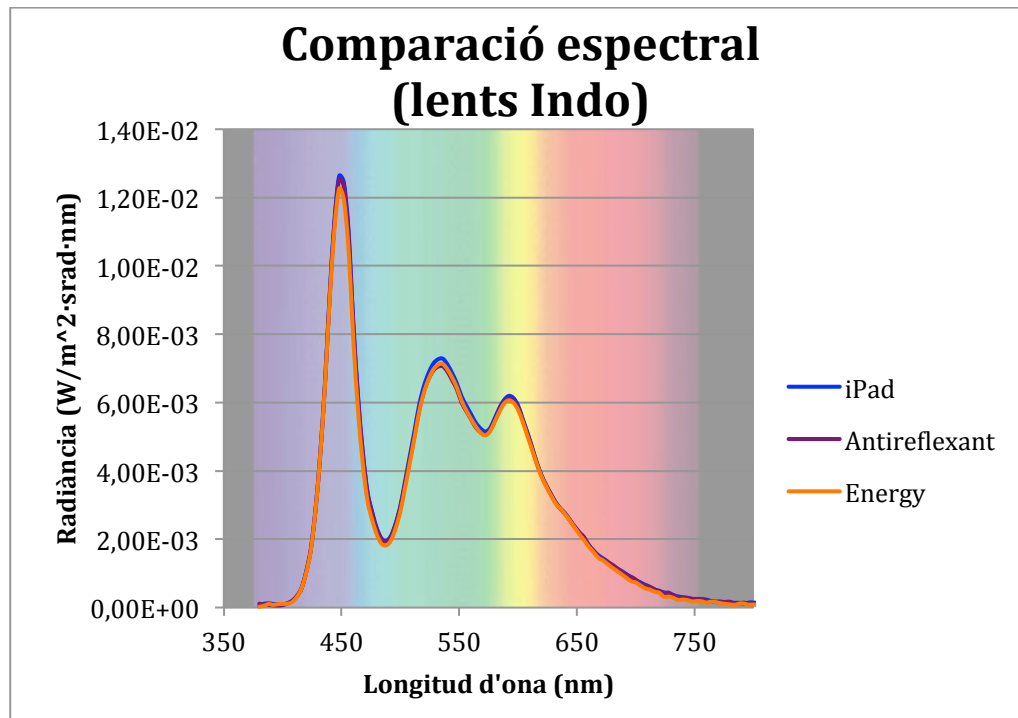
En el cas del filtre més suau (CSR), l'atenuació es focalitza únicament en la zona dels blaus de l'espectre visible. I en particular en aquesta zona, l'atenuació aconseguida és molt lleu, de l'ordre del 14,2%.

En els altres dos filtres més intensos, CSR 2a i 2b, l'atenuació és pràcticament total en el màxim d'emissió de 448nm, i és també important a la resta de longituds d'ona del visible. En el cas de la lent CSR 2a, només es deixa passar un 0,5% de la component blava, i per la lent CSR 2b un 0,4%. Equivalentment, la lent CSR 2a té una absorptància del 99,5%, i en la lent CSR 2b l'absorptància és del 99,6%. Aquesta segona lent té una absorptància més marcada en tot l'espectre visible, fet que li configura un to més fosc de la lent en general. Un usuari d'aquestes dues lents té clarament una apreciació més groguenca de l'entorn.

5.2.1.2. Indo

La **gràfica 4** mostra les corbes corresponents a les lents de la casa Indo, una amb tractament antireflexant, i l'altre amb filtre blau Energy, conjuntament amb la corba de radiància de la font d'il·luminació de l'iPad.

Podem observar en la **gràfica 4** que totes les corbes representades tenen uns valors molt coincidents en tot l'espectre visible a la mesura de l'espectre de l'iPad que mostra un blanc uniforme. És a dir, les lents estudiades presenten una absorptància mínima al llarg de l'espectre visible.



Gràfica 4. Comparació de les corbes de radiància espectral de les diferents lents d'Indo, superposades a l'iPad amb imatge uniforme blanca.

Concretament, la lent antireflexant absorbeix un 0,7%, i la lent amb filtre blau Energy un escàs 2,9% en el pic de radiància màxima, corresponent als blaus/liles. Observem que mostren una diferència poc significativa entre elles, i que són valors molt petits, transmetent ambdues una gran part del component blau.

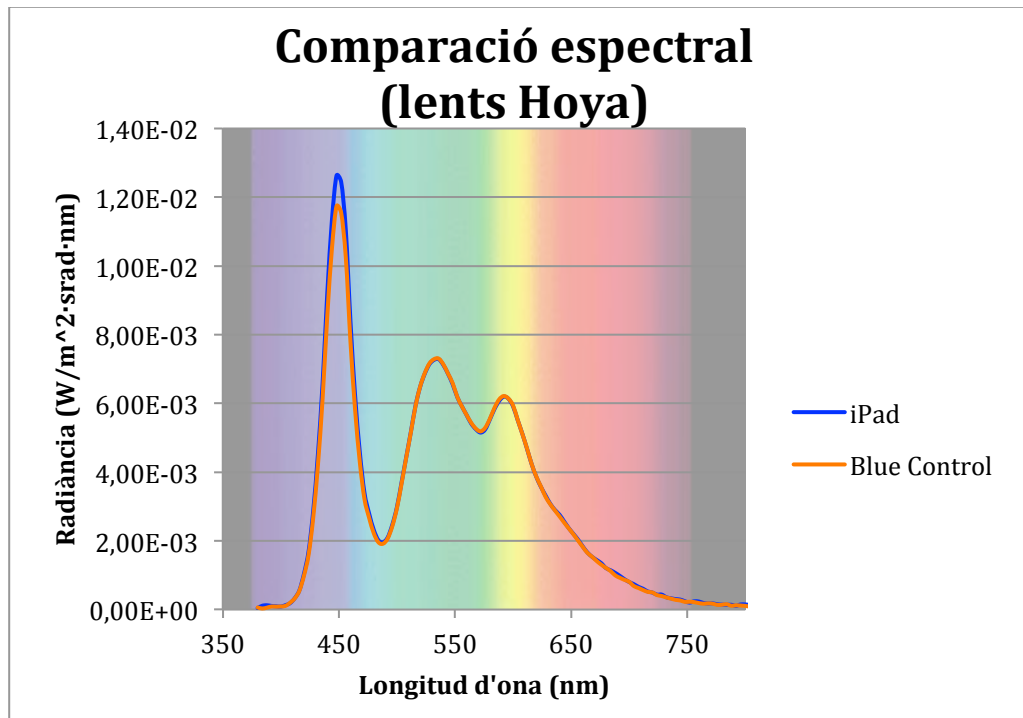
Aquests resultats concorden amb l'apreciació inicial d'estar considerant lents oftàlmiques que proporcionen imatges molt transparents, i que un usuari difícilment aprecia cap variació de tonalitat, ja que l'absorbància selectiva és gairebé imperceptible.

5.2.1.3. Hoya

En el cas d'aquesta casa comercial, només ens va ser possible accedir a la lent amb el filtre Blue Control. La corba mesurada amb l'espectroradiòmetre es mostra en la **gràfica 5**, conjuntament amb l'espectre de l'iPad.

La lent d'Hoya, segons es dedueix del gràfic, ofereix una absorbència d'un 7% en el pic de màxima emissió LED de l'espectre visible.

En la **gràfica 5** es veu que l'efecte de l'ús d'aquesta lent és pròpiament el d'atenuació, si bé no massa important, de les components blaves de la radiació que emet la tauleta. La resta de components de l'espectre visible es mostren pràcticament inalterats, ja que la seva transmissió és màxima. Com a conseqüència d'aquesta atenuació en la zona dels blaus de l'espectre, un usuari que observi a través d'aquesta mostra, percep un cert esgrogueïment de l'entorn, de manera lleu.

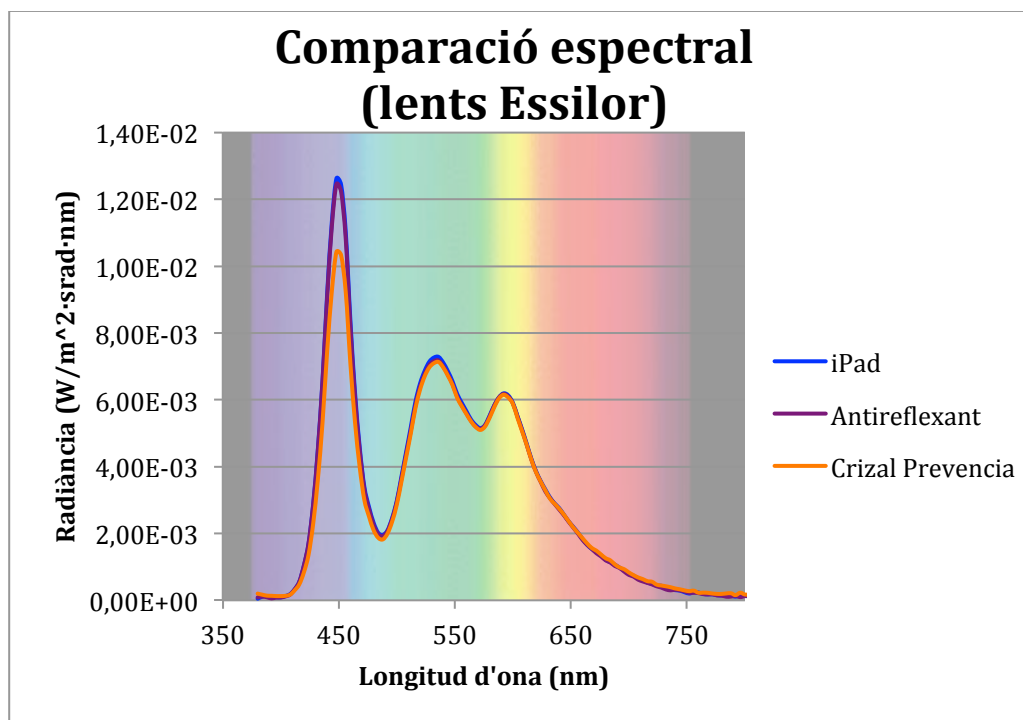


Gràfica 5. Comparació de les corbes de radiància espectral de la lent d'Hoya amb filtre blau Blue Control, superposada a l'iPad amb imatge uniforme blanca.

5.2.1.4. Essilor

En la **gràfica 6** estan representats els espectres electromagnètics de l'iPad amb la imatge uniforme blanca i els de les lents Crizal (amb només tractament antireflexant) i Crizal Prevencia (amb filtre blau) superposades al dispositiu electrònic.

En la gràfica s'observa que la variació de l'espectre amb la lent que conté un tractament antireflexant és pràcticament inapreciable. Hem mesurat un 1,4% d'absorció de la component blava en el màxim d'emissió de l'iPad en aquest cas. La lent que conté el filtre blau, Crizal Prevencia, en canvi, atenua amb més intensitat la component blava, sense modificar la resta de l'espectre visible. La màxima absorbència la trobem de l'ordre del 17,4% en el màxim pic d'emissió en els blaus.



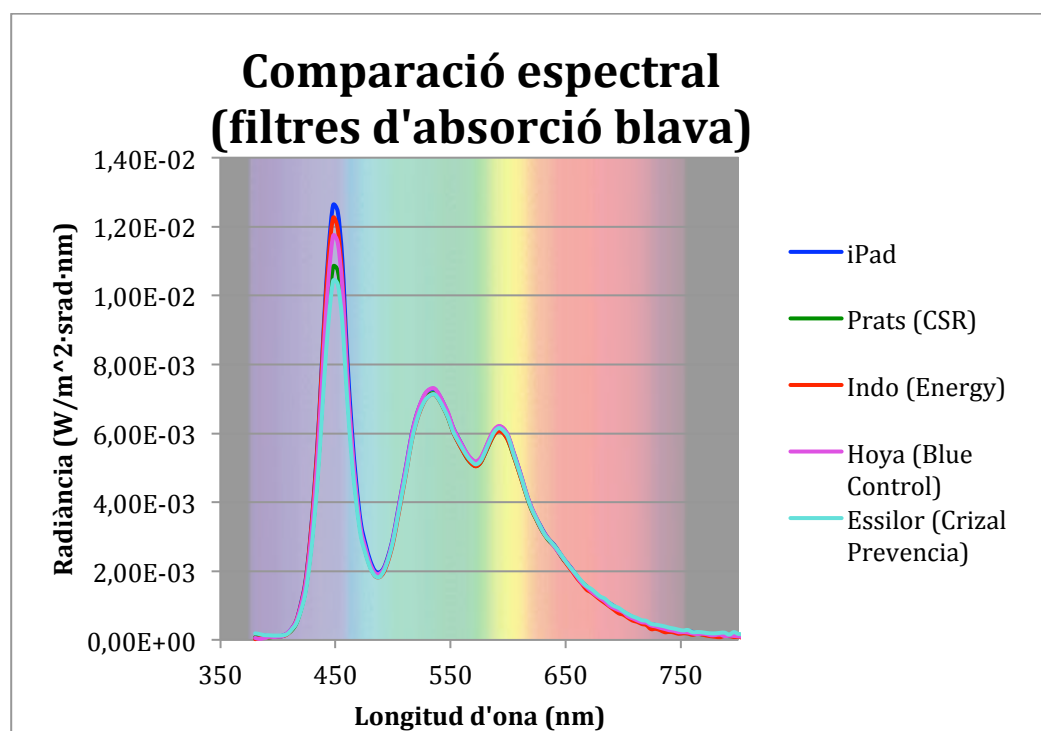
Gràfica 6. Comparació de les corbes de radiància espectral de les diferents lents d'Essilor, superposades a l'iPad amb imatge uniforme blanca.

Si bé la lent amb antireflexant no ofereix cap variació a un usuari que mira a través d'ella, en el cas d'utilitzar la lent Crizal Prevencia s'aprecia un color més esgrogueït, a causa de l'atenuació relativa de la component blava respecte a la resta de l'espectre visible.

5.2.2. Lents amb filtre d'absorció al blau de diferents fabricants

En la **gràfica 7** es van representar les corbes de l'espectre electromagnètic visible de totes les lents amb el filtre d'absorbència selectiva als blaus de les que disposàvem, superposades a l'iPad quan aquest mostrava una imatge uniforme blanca, juntament amb l'espectre electromagnètic d'aquest mateix dispositiu quan no tenia cap filtre al davant. Es van excloure d'aquesta representació les lents de Prats corresponents als filtres CSR 2a i CSR 2b, ja que habitualment aquestes lents estan indicades per a la protecció de les retines més sensibles, i no són utilitzades com a lents simplement per a la reducció dels efectes de la llum blava o de la fatiga visual.

Segons es veu en la **gràfica 7**, les lents comercialitzades com d'absorbència selectiva als blaus obtenen espectres molt semblants on pràcticament no hi ha atenuació de la radiació de l'espectre visible, llevat de la zona dels blaus/liles, on els LEDs tenen el seu pic d'emissió més destacat. El grau d'atenuació d'aquesta radiació varia en funció de la lent considerada.



Gràfica 7. Comparació de les corbes de radiància espectral de les lents amb filtre d'absorció al blau de diferents cases comercials, superposades a l'iPad amb imatge uniforme blanca.

Per tal de poder comparar i analitzar les absorbàncies de cada lent d'una forma més acurada, en la **taula 2** es van proporcionar els valors d'absorbància de totes les lents estudiades, incloses les lents amb només tractament antireflexant i les lents terapèutiques CSR 2a i CSR 2b.

Absorbàncies (%):

Tractament	Antireflexant	Filtre llum blava	
		CSR	
Prats	1,82%	CSR	14,17%
		CSR 2a	99,49%
		CSR 2b	99,60%
Indo	0,71%	2,93%	
Hoya	-	7,05%	
Essilor	1,35%	17,42%	

Taula 2. Absorbància(%) del component blau/lila de cada lent superposada a l'iPad amb imatge uniforme blanca i il·luminació màxima.

En primer lloc, observem en tots els casos que el tractament antireflexant pràcticament no introdueix atenuació de la radiació que arriba a la lent, fent que la seva transmissió sigui pràcticament la mateixa que la de la font de llum original.

Comparant les lents que contenen filtres blaus, s'aprecia uns valors d'absorbància força diferents entre les cases comercials, des del més petit d'Indo amb un escàs 3% d'absorbància, al valor més gran d'Essilor, amb un 17,4%. Entremig trobem la mostra d'Hoya, amb un 7,1% d'absorbància, i un 14,2% de la lent CSR de Prats.

Aquestes diferències també concorden directament amb l'apreciació subjectiva que té l'usuari d'una certa tonalitat grogosa a través de la lent, que és més clarament observable amb les lents d'Essilor i les CSR de Prats. De la mateixa manera, les lents que proporcionen una imatge més transparent corresponen a les que tenen un valor més petit d'absorbància en els blaus, com són la lent d'Indo i la d'Hoya.

En resum, sense tenir en compte els filtres especials d'absorbància màxima CSR 2a i CSR 2b, les lents amb filtre de llum blava d'Essilor són les que més absorbeixen aquest component (absorbància d'un 17,4%), molt similars a les CSR de Prats (absorbància d'un 14,2%), seguides de les Blue Control d'Hoya, atenuant amb molta menys mesura la component blava (absorbància d'un 7,1%), i finalment les lents Energy d'Indo, on és poc perceptible aquesta absorció (absorbància d'un 2,9%).

Finalment, en la **taula 3** es va analitzar, per a cada proveïdor, la relació entre el grau d'atenuació dels blaus que proporciona la lent amb filtre selectiu i el suplement econòmic que suposa aquesta lent respecte a la lent antireflexant del mateix fabricant. En les tarifes que ofereixen els diferents proveïdors analitzats, aquest és el mètode emprat per calcular el preu de la lent amb filtre blau, excepte en el cas de Prats, que aquest suplement varia en funció de l'índex de la lent, i de si és monofocal o progressiva.

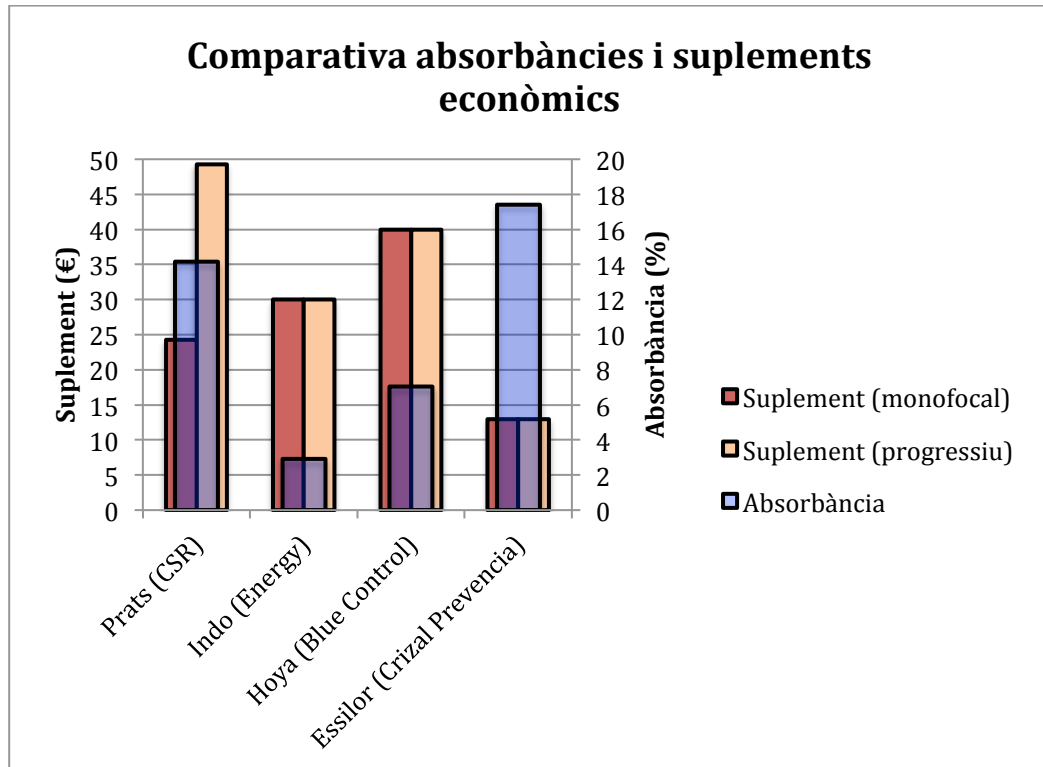
Per l'estudi comparatiu es va considerar una lent de Prats sense reduir (índex 1,5).

Es van representar aquests mateixos valors en la **gràfica 8**, per una millor interpretació dels resultats.

Comparativa absorbàncies i suplement:

Lent	Absorbància	Suplement
Prats (CSR)	14,17%	24,30€ (monofocals 1,5) 49,30€ (progressives 1,5)
Indo (Energy)	2,93%	30€
Hoya (Blue Control)	7,05%	40€
Essilor (Crizal Prevencia)	17,42%	13€

Taula 3. Comparativa entre l'atenuació que proporciona cada lent amb filtre blau i el suplement econòmic que suposa aquest tractament respecte a la lent antireflexant.



Gràfica 8. Comparativa entre l'atenuació que proporciona cada lent amb filtre blau i el suplement econòmic que suposa aquest tractament respecte a la lent antireflexant.

Tal com es pot observar en la **gràfica 8**, a excepció de les lents de Prats, tots els proveïdors ofereixen el mateix suplement de filtre blau sense fer distincions entre monofocals i progressius. En el cas de Prats, però, resulta més car afegir aquest tractament en el cas dels progressius.

Tant en la **taula 3**, com en la **gràfica 8**, observem que, en les diferents mostres disponibles, el grau d'absorbència que proporciona la lent amb filtre blau d'un determinat fabricant no guarda cap relació amb l'encariment que suposa aquesta respecte a la lent antireflexant del mateix proveïdor, essent, per exemple, la lent Crizal Prevencia la que proporciona més atenuació dels blaus i la que suposa un suplement més econòmic. També podem apreciar la lent Blue Control d'Hoya, que com hem vist anteriorment, presenta un baix nivell d'atenuació dels blaus, s'ofereix per un suplement força elevat.



Així doncs, podem concloure que el grau d'atenuació als blaus que proporciona cada lent d'absorbància selectiva dels diferents proveïdors no presenta cap relació amb el suplement econòmic que representa aquesta lent, respecte a la lent antireflexant que ofereix el mateix fabricant.

6. Conclusions i futurs treballs

A la vista dels resultats comentats a l'apartat anterior mirarem d'extreure conclusions a partir de l'estudi realitzat i els objectius marcats. Així doncs, podem afirmar que:

- La retro-il·luminació LED amb imatge uniforme blanca i il·luminació màxima, com era d'esperar, presenta un pic màxim d'emissió en la zona dels blaus de l'espectre visible, assolint un màxim, en el cas de la nostra tauleta (iPad mini ME280TY/A), al voltant dels 450nm.
- Els filtres d'absorbància selectiva als blaus que s'han analitzat compleixen el seu objectiu d'absorbir una part de llum blava i violeta.
- Les lents d'un mateix fabricant amb tan sols el tractament antireflexant permeten més el pas de la llum blava/violeta, respecte a les que presenten el filtre d'absorbància selectiva.
- En tots els casos observats, les lents amb filtre selectiu dels blaus dels diferents proveïdors analitzats no presenten el mateix grau d'absorbància entre elles. Cada marca comercial utilitza llindars diferents d'atenuació de la llum blava, existint una diferència en el filtratge d'un 14,5%, entre la més i la menys efectiva. Això indica que encara avui es desconeix quin hauria de ser el valor d'atenuació de la llum blava recomanable.
- Un major esgrogueïment de la percepció de l'entorn a través de la lent es correspon amb un nivell d'absorbància als blaus més elevat.
- A partir d'una anàlisi de les diferents crítiques i dels estudis existents que investiguen la influència d'aquests filtres en la possible aparició de la DMAE i en l'alteració del ritme circadiari es conclou que, tot i que la llum blava podria resultar danyosa per certes estructures del sistema visual en algunes condicions extremes, els estudis realitzats fins ara no corresponen a situacions reals i, per tant, no es pot afirmar que aquesta llum influeixi en l'aparició de la DMAE, ni consegüentment, que els filtres ho impedeixin.

Tanmateix, el que sí que sembla bastant provat és que la llum blava inhibeix la producció de melatonina en les hores abans d'anar a dormir, alterant el ritme circadiari, i que aquests filtres ajuden a disminuir aquest efecte.

L'avaluació d'aquestes mostres de lents oftàlmiques des del punt de vista de la mesura de la transmitància espectral que proporcionen és només un primer pas d'anàlisi d'aquests components. Caldria aprofundir en l'estudi en altres aspectes com, per exemple, en la mesura absoluta de l'energia de la radiació que li arriba a l'ull de l'usuari, en funció de la mida de la pantalla observada i de la distància a la qual es situa. Això donaria més informació de si aquesta radiació pot provocar efectes nocius al sistema visual humà, o en l'alteració del ritme circadiari.

Per altra banda, com ja sabem, les lents que atenuen més fortament la component blava de l'espectre visible també modifiquen més fortament l'entorn observat per part de l'usuari, donant-li tonalitats més esgrogueïdes. Això fa que l'apreciació dels colors es vegi afectada en els usuaris d'aquestes lents que incorporen filtres blaus. Un altre estudi interessant seria quantificar aquestes variacions produïdes en l'observació de colors i estudiar si proporcionen un millor contrast, que per certes activitats, poden tenir efectes importants.

7. Referències

Articles:

[Chamorro, E. et al 2013] Chamorro, E., Bonnin-Arias, C., Pérez-Carrasco, M.J., Muñoz de Luna, J., Vázquez, D., Sánchez-Ramos, C. "Effects of Light-emitting Diode Radiations on Human Retinal Pigment Epithelial Cells *In Vitro*". *Photochemistry and Photobiology*, vol 89 (2013), 468-473.

[Chang, A-M. et al, 2014] 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". *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, vol 112, nº 4 (2015), 1232-1237.

[Chu, C.A. et al, 2004] Chu, C.A., Rosenfield, M., Portello, J.K. "Blink Patterns: reading from a computer screen versus hard copy". *Optometry and Vision Science*, vol 91, nº 3 (2014), 297-302.

[Lerman, S. 1980] Lerman, S. "Radiant energy and the eye". *Macmillan* (1980).

[Sanz, E. 2015] Sanz, E. "6 efectos de la luz azul que deberías conocer". *Muy Interesante*, 2015.

[Sánchez-Ramos, C. 2010] Sánchez-Ramos, C., García, J., Gili, P. *Filtros ópticos contra el efecto fototóxico del espectro visible en la retina: Experimentación animal*. Tesi Doctoral. Madrid: Universidad Europea de Madrid, 2010.

[Sánchez-Ramos, C. 2012] Sánchez-Ramos, C., Armadá, F., Vila, C., Chamorro, E., *Influencia de las lentes intraoculares amarillas en el daño fototóxico retiniano. Valoración del espesor macular mediante Tomografía de Coherencia Óptica*. Tesi Doctoral. Madrid: Universidad Europea de Madrid, 2012.

[Schlote, T. et al, 2004] Schlote, T., Kadner, G., Freudenthaler, N. “Marked reduction and distinct patterns of eye blinking in patients with moderately dry eyes during video display terminal use”. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, vol 242, nº 4 (2004), 306-312.

[Van der Lely, S. et al, 2014] Van der Lely, S., Frey, S., Garbazza, C., Wirz-Justice, A., Jenni, O.G., Steiner, R., Wolf, S., Cajochen, C., Bromundt, V., Schmidt, C. “Blue Blocker Glasses as a Countermeasure for Alerting Effects of Evening Light-Emitting Diode Screen Exposure in Male Teenagers”. *Journal of Adolescent Health*, vol 56 (2015), 113-119.

[Wood, B. et al. 2013] Wood, B., Rea, M.S., Plitnick, B., Figueiro, M.G. “Light level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression”. *Applied Ergonomics*, vol 44 (2013), 237-240.

Pàgines web:

[Bernaro, A.; Lacort, J., 2014] Bernaro, A., Lacort, J. *Reticare, un negocio familiar i millonario basado en el miedo* [En línia]. Madrid: Hipertextual, 2015. [Consulta: novembre 2015]. Disponible a: <http://hipertextual.com/especiales/reticare>.

Campanya Visió i Pantalles [En línia]. Barcelona: UPC i COOOC. [Consulta: novembre 2015]. Disponible a: <http://www.victor3d.cat/pantalles/>

De Escauriaza, C. *Luz Azul. ¿oportunidad de mercado o algo real con lo que lidiar?* [En línea]. [Consulta: noviembre 2015]. Disponible a: https://foot.upc.edu/formaciocontinuada/formacion-continuada/optica-ofthalmica/jornadas-de-lentes-ofthalmicas-para-profesionales-2014-1/presentaciones-labs/141210_cuv-JLOpro-Hoya.pdf

Degeneración macular asociada con la edad [En línea]. Bethesda, 2015. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001000.htm>

DMAE – Degeneración Macular Asociada a la Edad [En línea]. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://www.servilens.com/dmae.html>

DMAE I. Definición, tipos y video [En línea]. Cuidatuvista, 2015. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://cuidatuvista.com/dmae/>

DMAE II. Diagnóstico, tratamiento y prevención [En línea]. Cuidatuvista, 2015. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://cuidatuvista.com/dmae-tratamiento-diagnostico/>

Efectos de la radiación ultravioleta sobre el ojo [En línea]. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://www.clinicavalle.com/salud-visual/efectos-radiacion-solar.html>

El Premio Nobel de Física 2014 es otorgado a los creadores del LED azul [En línea]. 2014 [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://noticias.universia.es/ciencia-nyt/noticia/2014/10/08/1112839/premio-nobel-fisica-2014-otorgado-creadores-led-azul.html>

Entendiendo el Ciclo Circadiano: La Importancia de la Luz. [En línia]. 2012. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://www.tecnolite.co.cr/entendiendo-el-ciclo-circadiano-la-importancia-de-la-luz>

Historia e importancia de la invención del LED azul [En línia]. 2014 [Consulta: setembre 2015]. Disponible a: <http://www.ticbeat.com/innovacion/historia-importancia-invencion-led-azul/>

Kitchel, E. *Ultravioleta A, la luz azul y los niños* [En línia]. Texas: 1999. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://www.tsbvi.edu/article/104/2754-ultravioleta-a-la-luz-azul-y-los-ninos>

Lámpara LED [En línia]. 2015 [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1mpara_LED

Los inventores de las luces LED azules reciben el Premio Nobel de Física 2014 [En línia]. RTVE, 2014 [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://www.rtve.es/noticias/20141007/inventores-luces-led-azules-reciben-premio-nobel-fisica-2014/1024125.shtml>

Luz azul y ritmo circadiano (I). [En línia]. Ocularis, 2015. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://ocularis.es/blog/luz-azul-y-ritmo-circadiano-i/>

Luz azul y ritmo circadiano (II). [En línia]. Ocularis, 2015. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://ocularis.es/blog/luz-azul-y-ritmo-circadiano-ii/>

Mendicute, J. *Lentes intraoculares amarillas: Filtrando la luz azul*. [En línia]. Madrid: Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología, 2004. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-66912004000900001

Mirar el mòbil o la tauleta abans d'anar a dormir perjudica el son dels adolescents [En línia]. Madrid: Europa Press, 2015. [Consulta: 20 maig 2015]. Disponible a: http://www.ara.cat/estils_i_gent/Mirar-mobil-dormir-perjudica-adolescents_0_1360064165.html

Protección para tus ojos [En línia]. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://www.essilor.es/SALUDVISUAL/PROTECCIONUV/Paginas/%C2%BFProtegestusojosdelosrayosUVcadad%C3%ADa.aspx>

Vidal, R. *10 consejos para evitar el Síndrome Visual Informàtico*. [En línia]. RTVE, 2014. [Consulta: noviembre 2015]. Disponible a: <http://www.rtve.es/radio/20141009/10-consejos-para-evitar-sindrome-visual-informatico/1026540.shtml>

Villegas-Pérez, M.P. *Exposición a la luz, lipofusquina y Degeneración Macular Asociada a la Edad* [En línia]. Madrid: Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología, 2015. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0365-66912005001000002&script=sci_arttext

Figures:

Figura 1. *Reduzca los costes operativos con la tecnología de retroiluminación Direct LED* [En línia]. [Consulta: setembre 2015]. Disponible a: <http://www.samsung.com/es/business/business-products/smart-signage/video-wall/LH22UDBPLBB/EN>

Figura 2a. *Estación Meteorológica por radio inteligente Smart* [En línea]. [Consulta: diciembre 2015]. Disponible a: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/logger-de-datos/estacion-meteorologica-smart.htm>

Figura 2b. *Tablet Sencor ELEMENT 8 V3 (45007159)* [En línea]. 2015. [Consulta: diciembre 2015]. Disponible a: <http://www.hej.sk/tablet-sencor-element-8-v3-45007159/>

Figura 3a. *Encyklopedia epoki obrazu* [En línea]. Środa: 2015. [Consulta: diciembre 2015]. Disponible a: <http://pclab.pl/art41370-10.html>

Figura 3b. [En línea]. 2015. [Consulta: diciembre 2015]. Disponible a: <http://www.boransat.net/board/index.php?topic=7934.0>

Figura 3c. *LED TV – La verdad sobre los televisores LED llamados* [En línea]. 2013. [Consulta: setembre 2015]. Disponible a: <http://valrubdigesi.blogspot.com.es/2013/09/led-tv-la-verdad-sobre-los-televisores.html>

Figura 3d. *LED TV – La verdad sobre los televisores LED llamados* [En línea]. 2013. [Consulta: setembre 2015]. Disponible a: <http://valrubdigesi.blogspot.com.es/2013/09/led-tv-la-verdad-sobre-los-televisores.html>

Figura 4. *La Luz de los Científicos y la Paz de una Niña y un Adulto Mayor* [En línea]. 2014. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://www.metropoliseseptica.com/escepticismo-cientifico/966/>

Figura 5. *CIE 1931 color space* [En línea]. 2011. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIE_diagram_CCFL_-_LED.JPG

Figura 6. *¿Qué es la luz o el electromagnetismo?* [En línia]. 2013. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-la-luz-o-el-electromagnetismo/>

Figura 7. *Composició del ojo humano* [En línia]. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://www.escuelapedia.com/composicion-del-ojo-humano/>

Figura 8. *Capas de la atmósfera terrestre* [En línia]. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <http://forumspain.net/thread/capas-de-la-atmosfera.html>

Figura 9. *06. Los impactos ambientales. Impactos en la atmósfera* [En línia]. 2015. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: <https://cmc2desarrollosostenible.wikispaces.com/06.+LOS+IMPACTOS+AMBIENTALES.+IMPACTOS+EN+LA+ATM%C3%93SFERA>

Figura 10. *Primera lente de contacto que protege de la luz* [En línia]. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: http://www.avizor.es/ficheros/web/ficheros/Tr%C3%ADptico_AURA_11-8.pdf

Figura 11. *Primera lente de contacto que protege de la luz* [En línia]. [Consulta: octubre 2015]. Disponible a: http://www.avizor.es/ficheros/web/ficheros/Tr%C3%ADptico_AURA_11-8.pdf

Figura 12. *Nuestra visión es salvar su visión* [En línia]. Cambridge. [Consulta: noviembre 2015]. Disponible a: <http://www.scienceofamd.org/es/learn/>

Figura 13. *OCT 3D eye scans and age related macular degeneration* [En línia]. 2015. [Consulta: noviembre 2015]. Disponible a: <http://www.valliopticians.co.uk/news/oct-3d-eye-scans-and-age-related-macular-degeneration>

Figura 14. *La glándula pineal, ¿el tercer ojo?* [En línia]. Setembre 2013. [Consulta: novembre 2015]. Disponible a: <http://antroporama.net/la-glandula-pineal-el-tercer-ojo/>

Figura 15. *Los molestos reflejos en a pantalla de una laptop* [En línia]. Berlín: juny 2011. [Consulta: desembre 2015]. Disponible a: <http://www.noticias24.com/tecnologia/noticia/9329/informatica-los-molestos-reflejos-en-el-pantalla-de-una-laptop/>

Figura 16. *Seguridad ergonómica e impacto ambiental* [En línia]. 2015. [Consulta: desembre 2015]. Disponible a: <http://danielfelipe01.wikispaces.com/seguridad+ergon%C3%B3mica+e+impacto+ambiental>

Figura 17. *Reticare protect your eyes* [En línia]. [Consulta: novembre 2015]. Disponible a: <http://www.reticare.com/en/>

Figura 18. *Use a Mac at Night? Save Your Eyes & Sanity with Flux* [En línia]. Febrer 2011. [Consulta: desembre 2015]. Disponible a: <http://osxdaily.com/2011/02/25/use-a-mac-at-night-save-your-eyes-sanity-with-flux/>

Figura 19. *Optica Llinars botiga online* [En línia]. [Consulta: novembre 2015]. Disponible a: <http://www.opticallinars.com/~optical/es/filtros-especiales/99-filtro-csr.html>

Figura 20. *Primera Lente de Contacto que Previene la Degeneración Macular DMAE* [En línia]. [Consulta: novembre 2015]. Disponible a: <http://www.servilens.com/index.php?tipus=5&info=1402>

8. Annexos

Annex A. Informació Comercial Lent Blue Control (Hoya)



Indicado para estudiantes, jóvenes profesionales, jubilados, amas de casa... toda persona que utilice dispositivos digitales

<p>Características</p> <p>Tratamiento de superficie que actúa sobre la luz azul (cuyo espectro se sitúa entre 420-520nm) bloqueándola, hasta niveles equiparables a los que contiene la luz solar.</p> <p>Se aplica sobre el tratamiento HVLL</p>	<p>Ventajas</p> <p>Previene la fatiga y el estrés visual.</p> <p>Reducción de reflejos.</p> <p>Aumento y mejora del contraste.</p> <p>Mantiene los ojos en mejores condiciones mientras ofrece una mayor comodidad.</p>
--	--

Annex B. Informació Comercial Lent Energy (INDO) (Cara A)



ENERGY

El único tratamiento antirreflejante del mercado que ofrece una protección total. UV, radiación Infrarroja y luz azul.

Aporta las ventajas de todas las propiedades filtrantes de las radiaciones nocivas en una sola lente. La máxima protección en interiores y exteriores.

patente INDO

54% Radiación Infrarroja (1)

7% Radiación UV (2)

bloquea la luz LED Radiación azul (3)

PROTECCIÓN TOTAL NOVEDAD

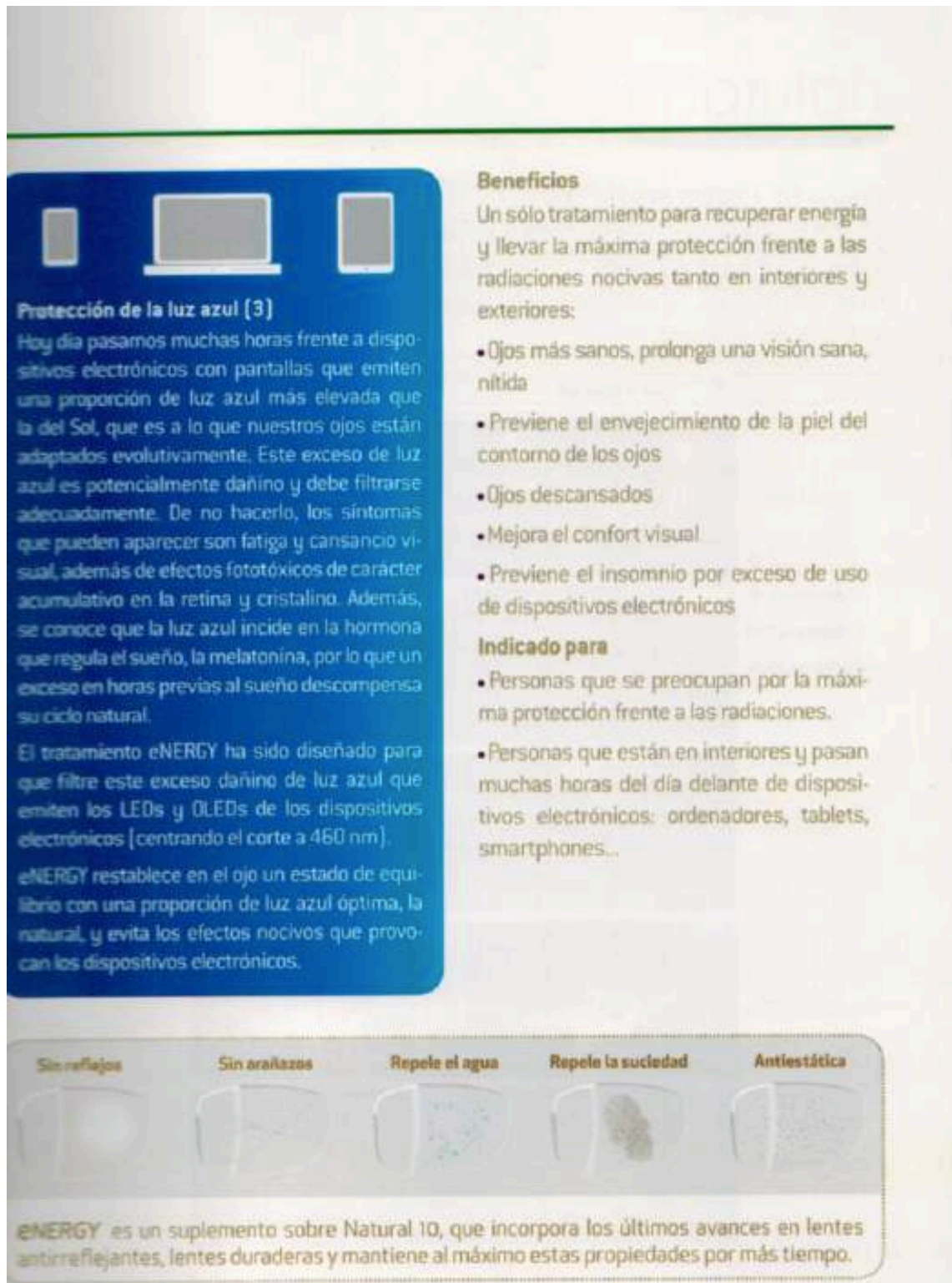
Protección infrarroja (1)
Hoy día vivimos muchos más años y las células de nuestra piel y ojos necesitan una protección extra ante las radiaciones. Del Sol nos llega el 54% de radiación Infrarroja. Tiene efectos acumulativos y puede acelerar la degeneración retiniana y del cristalino, causante de las cataratas. Además tiene un efecto fototérmico que incrementa la evaporación de la lágrima provocando mayor incomodidad. También se conoce que el infrarrojo contribuye a la destrucción del colágeno del contorno de los ojos, provocando arrugas en la piel.

Protección UV (2)
Conocida por su fototoxicidad, capaz de provocar en muy poco tiempo efectos dañinos irreversibles en ojos y piel.

INFRARED Technology

www.indokubik.com

Annex C. Informació Comercial Lent Energy (INDO) (Cara B)



Protección de la luz azul (3)

Hoy día pasamos muchas horas frente a dispositivos electrónicos con pantallas que emiten una proporción de luz azul más elevada que la del Sol, que es a lo que nuestros ojos están adaptados evolutivamente. Este exceso de luz azul es potencialmente dañino y debe filtrarse adecuadamente. De no hacerlo, los síntomas que pueden aparecer son fatiga y cansancio visual, además de efectos fototóxicos de carácter acumulativo en la retina y cristalino. Además, se conoce que la luz azul incide en la hormona que regula el sueño, la melatonina, por lo que un exceso en horas previas al sueño descompensa su ciclo natural.

El tratamiento eENERGY ha sido diseñado para que filtre este exceso dañino de luz azul que emiten los LEDs y OLEDs de los dispositivos electrónicos (centrando el corte a 460 nm).

eENERGY restablece en el ojo un estado de equilibrio con una proporción de luz azul óptima, la natural, y evita los efectos nocivos que provocan los dispositivos electrónicos.

Beneficios

Un sólo tratamiento para recuperar energía y llevar la máxima protección frente a las radiaciones nocivas tanto en interiores y exteriores:

- Ojos más sanos, prolonga una visión sana, nítida
- Previene el envejecimiento de la piel del contorno de los ojos
- Ojos descansados
- Mejora el confort visual
- Previene el insomnio por exceso de uso de dispositivos electrónicos

Indicado para

- Personas que se preocupan por la máxima protección frente a las radiaciones.
- Personas que están en interiores y pasan muchas horas del día delante de dispositivos electrónicos: ordenadores, tablets, smartphones...

Sin reflejos **Sin arañazos** **Repele el agua** **Repele la suciedad** **Antiestática**

eENERGY es un suplemento sobre Natural 10, que incorpora los últimos avances en lentes antirreflejantes, lentes duraderas y mantiene al máximo estas propiedades por más tiempo.

Annex D. Suplement Lent Crizal Prevencia (Essilor)

Crizal[®] PREVENCIA[™]
CUIDAR TUS OJOS ES PROTEGERLOS HOY

Cómo calcular el PVP de tus lentes con Crizal Prevencia.

2013


Crizal Forte UV	+ 13.00€
XX	

» **El precio por lente se calcula sumando 13€ al PVP de Crizal Forte UV.**

Disponible en:

- » Materia orgánica Orma 1.5, Ormix 1.6, Airwear y Styliis 1.67.
- » Blanco y Transitions.
- » Todos los diseños del catálogo a excepción de:
 - Varilux Liberty/Varilux Liberty Short
 - Anti-Fatigue Orma
 - Bifocal

Coloca este tarjetón en la **página de producto** que quieras calcular con **Crizal Prevencia.**



Annex E. Tarifa Lent "Imax" progressiva (Prats)

IMAX MASTER PERFECT
IMAX FIT FRM
IMAX FIT USR

IMAX

IMAX INI

IMAX PRIMO

IMAX INSIDE

IMAX ZOOM

IMAX KIDS

IMAX HIGH ADD

IMAX SLAB-OFF

LAB. PROGRESIVAS

N NOVEDAD

OBSERVACIONES

- Ver suplementos y recomendaciones en el apartado de Suplementos.
- Lentes coloreadas plazo de entrega de una semana.
- Quarz XTREM sobre tonos 60-80-90-95, lentes polarizadas y Drivewear sólo se aplica por la cara interna.
- Por razones estéticas se recomienda a partir de 5 dioptrías pedir índice 1.6; para cilindros y prismas superiores a 6.00 dp. consultar con fábrica.
- Para conseguir lentes más estéticas mirar tabla de índices recomendados al final del catálogo.

	ORGADUR	QUARZ XTREM	COLOR UNITONO	COLOR ESPEJADO	CSR	CSR 2A - 2B	CSR SOL
N IMAX 1.5	232.70€	333.40€	261.30€	337.95€	382.70€	412.70€	450.20€
N IMAX 1.5 TINT*	255.55€	356.25€	-	332.20€	-	-	-
IMAX 1.6	250.80€	357.45€	287.10€	368.30€	388.30€	415.80€	453.30€
N IMAX COLORMATIC® 1.54 BROWN/GREY	277.75€	378.45€	-	-	-	-	-
N IMAX COLORMATIC® 1.6 BROWN/GREY/GREEN	296.40€	403.05€	-	-	-	-	-

*LENTE PRETINTADA (M/V/G/N)

® COLORMATIC. Trademark registered by Rodenstock

DATOS PARA EL PEDIDO

- Distancia interpupilar
- Base Montura
- Altura pupila

Annex F. Tarifa Lent “Estándar LAB, Extrafin 1,5” monofocal (Prats)

**ESTÁNDAR LAB
EXTRAFIN 1.5**

Monofocal orgánico de índice 1.5 de fabricación, recomendado para graduaciones bajas. La lente blanca es fácil de tintar y manipular.

OBSERVACIONES

- Ver suplementos y recomendaciones en el apartado de Suplementos.
- Lentes coloreadas plazo de entrega de una semana.
- Quarz XTREM sobre tonos 60-80-90 y 95 sólo se aplica por la cara interna.
- Por razones estéticas se recomienda a partir de 5 dioptrías pedir índice 1.6; para cilindros y/o prismas superiores a 6.00 dp. consultar con fábrica

EXTRAFIN 1.5 Ø 65		BLANCO	ORGADUR	QUARZ XTREM	COLOR UNITONO	COLOR ESPEJADO	CSR	CSR 2A - 2B	CSR SOL	
MENISCOS LAB	0 A 2	40.95€	57.45€	141.65€	58.55€	135.20€	165.95€	190.95€	228.45€	
	0 A 4	46.25€	62.75€	146.95€	63.85€	140.50€	171.25€	196.25€	233.75€	
	0 A 6	54.25€	70.75€	154.95€	71.85€	148.50€	179.25€	204.25€	241.75€	
	0 A 8	58.90€	75.40€	159.60€	76.50€	153.15€	183.90€	208.90€	246.40€	
	0 A 10	78.25€	94.75€	178.95€	95.85€	172.50€	203.25€	228.25€	265.75€	
TÓRICOS LAB	2 A 2	45.75€	62.25€	146.45€	63.35€	140.00€	170.75€	195.75€	233.25€	
	2 A 4	55.35€	71.85€	156.05€	72.95€	149.60€	180.35€	205.35€	242.85€	
	2 A 6	59.50€	76.00€	160.20€	77.10€	153.75€	184.50€	209.50€	247.00€	
	2 A 8	64.95€	81.45€	165.65€	82.55€	159.20€	189.95€	214.95€	252.45€	
	2 A 10	79.20€	95.70€	179.90€	96.80€	173.45€	204.20€	229.20€	266.70€	
TÓRICOS LAB	4 A 2	48.30€	64.80€	149.00€	65.90€	142.55€	173.30€	198.30€	235.80€	
	4 A 4	61.60€	78.10€	162.30€	79.20€	155.85€	186.60€	211.60€	249.10€	
	4 A 6	70.55€	87.05€	171.25€	88.15€	164.80€	195.55€	220.55€	258.05€	
	4 A 8	83.85€	100.35€	184.55€	101.45€	178.10€	208.85€	233.85€	271.35€	
	4 A 10	96.00€	112.50€	196.70€	113.60€	190.25€	221.00€	246.00€	283.50€	
EXTRAFIN 1.5 Ø 65 TINT*	PRE TINTADO		ORGADUR	QUARZ XTREM	COLOR UNITONO	COLOR ESPEJADO	CSR	CSR 2A - 2B	CSR SOL	
	MENISCOS LAB	0 A 2	49.90€	66.40€	150.60€	-	126.55€	-	-	-
		0 A 4	53.90€	70.40€	154.60€	-	130.55€	-	-	-
	TÓRICOS LAB	2 A 2	53.50€	70.00€	154.20€	-	130.15€	-	-	-
		2 A 4	60.70€	77.20€	161.40€	-	137.35€	-	-	-
	TÓRICOS LAB	4 A 2	55.45€	71.95€	156.15€	-	132.10€	-	-	-
		4 A 4	65.40€	81.90€	166.10€	-	142.05€	-	-	-

*LENTE PRETINTADA M/V/G/N

Annex G. Tarifa Lents orgàniques (Hoya)



		1,57	1,69	1,69	1,50
Monofocales	MONOFOCAL LIFE	136,00	122,00	-	-
	MONOFOCAL DESIGN	124,00	110,00	-	-
	MONOFOCAL AURA	-	-	95,00	76,00
	MONOFOCAL HARD	-	-	63,00	44,00
	MONOFOCAL THE CENTRE	-	126,00	-	106,00
	MONOFOCAL LIFE	126,00	111,00	108,00	91,00
	MONOFOCAL DESIGN	114,00	99,00	96,00	79,00
	MONOFOCAL AURA	-	-	83,00	66,00
	MONOFOCAL HARD	-	54,00	51,00	34,00
	MONOFOCAL	-	-	-	24,00
Gama Solar	MONOFOCAL PROTECT	-	-	-	27,00
	MONOFOCAL	-	-	-	60,00
Fotocromàtics	MONOFOCAL LIFE	-	156,00	-	148,00
	MONOFOCAL DESIGN	-	144,00	-	-
	MONOFOCAL AURA	-	-	-	123,00
	MONOFOCAL HARD	-	-	-	91,00
Ocupacionales	MONOFOCAL AURA	-	-	-	87,00

Annex I. Tríptic Lent Crizal Prevencia (Essilor) (Cara B)

LA LUZ JUEGA UN PAPEL ESENCIAL EN NUESTRA VIDA COTIDIANA

- **PARA EL BIENESTAR GENERAL**
Ciclos de sueño, estado de ánimo, rendimiento cognitivo...
- **ES FUNDAMENTAL PARA VER**
Percebir el mundo que nos rodea: formas, detalles, colores...

PERO TAMBIÉN PUEDE SER PERJUDICIAL Y CONTRIBUIR AL DESARROLLO DE ENFERMEDADES OCULARES

LOS RAYOS UV Y LA LUZ AZUL-VIOLETA ESTÁN EN TODAS PARTES

UNA CORRECTA PROTECCIÓN ES NECESARIA DURANTE TODO EL DÍA Y A LO LARGO DE TODO EL AÑO:

EN EL EXTERIOR
(sol, niebla, lluvia...).

EN INTERIORES

INDEPENDIENTEMENTE DEL LUGAR
ya que la luz azul-violeta está presente sobre todo en las luces LED y fuentes de luz fluorescentes que podemos encontrar en la mayoría de dispositivos modernos (ordenadores, tabletas, smartphones...)

CATARATAS

Los rayos UV son peligrosos para la piel, pero también para los ojos. Pueden ser la causa de **PATOLOGÍAS OCULARES** como las **CATARATAS**. Los efectos de los rayos UV se van acumulando con el paso del tiempo.

LOS RAYOS UV SON ESPECIALMENTE DAÑINOS PARA LOS PÁRPADOS, LA CORNEA Y EL CRISTALINO.

• Una catarata es la pérdida de transparencia del cristalino. produce visión borrosa, deslumbramientos, disminuye el contraste y atenúa el color de los objetos.

DMAE

Recientemente se ha descubierto que la **LUZ AZUL-VIOLETA** es perjudicial para las **CÉLULAS DE LA RETINA**. Constituye uno de los principales factores de riesgo de aparición de **DMAE** (Degeneración Macular Asociada a la Edad), la primera causa de **CEGUERA** en los países industrializados.

LA LUZ AZUL-VIOLETA PENETRA EN LOS OJOS A UN NIVEL MÁS PROFUNDO, ALCANZANDO LA RETINA.

• Proceso degenerativo evolutivo que afecta poco a poco a la mácula, zona de la retina que se encarga de la visión central, en personas mayores de 55 años.

LUZ NOCIVA

CADA DÍA USAMOS MÁS PANTALLAS ELECTRÓNICAS (tabletas, smartphones...)

Annex J. Tríptic Lent CSR (Prats) (Cara A)



**PROTEGEIX EL TEUS
ULLS AMB LENTS CSR**

**LENTS BLOQUEJANTS AMB
ANTIRREFLEXANT PREVENTIU.**

En interiors,
protegeix els teus ulls amb lents CSR.

En exteriors,
amb lents graduades CSR SOLARS.

Totes les lents amb CSR venen acompanyades del seu certificat d'autenticitat. Demana-ho.



DISTRIBUÏDOR ESPECIALITZAT

CENTRO ESPECIALIZADO

Localitza al teu distribuïdor especialitzat:
www.certificadocsr.com

TIPUS DE LENTES AMB CSR

L'ús de lents amb CSR de forma continuada proporciona a l'usuari a curt termini més confort, millor contrast i una disminució de la fatiga visual; a llarg termini te la funció de prevenir els danys ocasionats sobre la retina produïts per la part nociva de la llum.

PREVEU LA CEGUERA EVITABLE: LENTS CSR

LENTS CSR

Les lents amb CSR estan recomanades per tots els usos i totes les edats per mantenir el ulls protegits de forma permanent contra el efectes tòxics de la llum.

LENTS CSR 2a

Les lents amb CSR de segon nivell anomenades CSR 2a tenen una absorció mitja a més d'una funció preventiva, estan indicades per a la protecció de les retines més sensibles.

LENTS CSR 2b

Les lents amb CSR de tercer nivell anomenades CSR 2b es diferencien per una major atenuació de la llum sent d'un to més fosc. A més d'una funció preventiva, estan indicades per a la protecció de les retines més sensibles, i/o en situació de lluminositat més intensa.

CSR SOL GRADUADES

Les lents graduades amb CSR GRADUABLE SOLAR son la solució òptima per les ulleres de sol graduades, estan particularment dissenyades per bloquejar parcialment les radiacions més nocives de la llum solar y de la seva reflexió. A més, atenuen de la forma més adequada la intensitat de la llum permetent la màxima protecció amb la major visibilitat, inclús en el dies més ennuvolats.

Si vols conèixer més sobre les lents CSR consulta:

www.certificadocsr.com

**CONSULTA AMB EL TEU ÒPTIC-OPTOMETRISTA
U OFTALMÒLEG LA LENT AMB CSR
MÉS IDÒNIA PER A TU**

Annex K. Tríptic Lent CSR (Prats) (Cara B)

Els nostres ulls reben aproximadament unes 5.000 hores de llum a l'any. El 23 % de l'espectre visible està format per les bandes més energètiques y nocives, causants de moltes patologies oculars.

CONSERVAR I PROTEGIR LA RETINA

Els efectes tòxics de la llum en el globus ocular tenen caràcter acumulatiu, igual que el dany ocasionats per les radiacions UVA/UVB sobre la pell. Les lents amb CSR eliminen la proporció adequada de la part nociva de l'espectre lumínic.

PROTEGEIX ELS TEUS ULLS AMB LENTS CSR

TAN NATURAL COM EL TEU SISTEMA VISUAL

Mantenim els ulls oberts entre el 60-80% del dia, i cada cop dediquem més hores a mirar directament pantalles emissores de llum (ordinadors, smartphones, tablets, televisors...)

El últims estudis publicats demostren que els danys ocasionats estan en funció de:

- El tipus de llum (especialment la més energètica com la llum Led)
- El temps d'exposició (hores d'ús)
- La distància de treball-us existent des dels dispositius electrònics fins als nostres ulls.

Per això, les nostres retines pateixen un major dany acumulatiu, augmenten considerablement la mort cel·lular, sent aquesta pèrdua neuronal irreversible.

Les lents bloquejants amb CSR son les úniques lents bloquejants amb ANTIRREFLEXANT PREVENTIU del mercat. Les lents amb CSR repliquen el procés natural de protecció del sistema visual, imitant la funció del pigment que es troba dintre de l'ull, en la retina y en el cristal·lí protegint-lo de forma natural.

A partir d'ara protegeix els teus ulls a diari, mentres treballes, conduïxes, gaudeixes dels teus hobbies, i en tot moment al incorporar el tractament antirreflexant preventiu CSR Quarz Xtrem en las teves noves ulleres de veure i/o graduades de sol.



UNA GARANTIA CERTIFICADA

Les lents amb CSR son les úniques lents patentades y certificades que es fonamenten en més de 12 anys d'investigació portats a terme per la Dra. Celia Sánchez-Ramos i un equip d'experts en visió de la Universitat Complutense en col·laboració amb altres grups d'investigació. Les lents amb CSR estan protegides per una patent d'invenció. Només les lents amb CSR van acompanyades del seu certificat d'autenticitat CSR.

Patent ES-2257976B2

LENTS BLOQUEJANTS AMB ANTIRREFLEXANT PREVENTIU

El possibles danys en la retina per exposició a la llum, son acumulatius e irreversibles. Cada cop més la esperança de vida es major i per tant es imprescindible protegir-nos per aconseguir mantenir el major temps possible la millor salut visual, tan important com prevenir els danys/ lesions causats per les radiacions UVA/UVB sobre la pell.

