



**Universitat de les  
Illes Balears**

Facultad de Ciencias

**Memoria del Trabajo de Fin de Grado**

# Estudio de la exposición de luz y sus repercusiones sobre el ritmo sueño vigilia, en las aulas de la UIB. Un estudio comparativo

Laura Vidal Ribeiro

**Grado de Bioquímica**

Año académico 2018-19

Trabajo tutelado por Dra. Maria Cristina Nicolau Llobera  
\*Departamento de Biología

Se autoriza a la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con finalidades exclusivamente académicas y de investigación	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	X		X	

Palabras clave del trabajo:

UIB, Normativa europea, centros educativos, intensidad de luz, ciclo circadiano, estudio comparativo



# ÍNDICE

1. Resumen	3
2. Abstract	4
3. Introducción	5
I. El sistema circadiano	5
II. La importancia de la luz en la regulación del ciclo circadiano	6
III. Luz en los ambientes educativos	7
IV. Normativa Europea para centros educativos	8
4. Hipótesis y objetivos	9
5. Material y métodos	10
6. Resultados	13
I. Aulas del edificio Melchor Gaspar Jovellanos	13
II. Biblioteca del edificio Melchor Gaspar Jovellanos	14
III. Aulas del edificio Antoni Maria Alcover Sureda	15
IV. Comparación entre las alas del edificio Melchor Gaspar Jovellanos	17
V. Comparación de la intensidad de luz incidente entre los edificios de nueva construcción	18
VI. Comparación de la intensidad de luz entre los edificios de vieja y nueva construcción	18
7. Discusión	20
8. Conclusiones	23
9. Referencias	24

## Resumen

La luz es un factor importante para diferentes aspectos y su estudio se ha abarcado desde diferentes puntos de vista, no obstante, es su papel en la biología lo que se centra este estudio. La luz es el zeitgeber más importante del sistema circadiano de mamíferos, permitiendo sincronizar los ritmos biológicos de acuerdo con las 24 horas del ciclo geofísico luz-oscuridad, dando lugar a los ritmos circadianos. Se ha demostrado la importancia de la exposición a la luz para un buen ajuste del ritmo sueño-vigilia, entre otros, y para evitar consecuencias del desajuste, como la falta de atención y concentración, entre otros.

En este estudio se ha analizado la exposición a la luz incidente de dos edificios de la Universitat de les Illes Balears (UIB), mediante sensores adaptados al análisis de la intensidad lumínica. El estudio se ha llevado a cabo en diversas aulas y biblioteca de los edificios: Melchor Gaspar Jovellanos (Jovellanos) y Antoni Maria Alcover Sureda (Antoni M. Alcover). Se ha analizado la exposición a la luz natural y artificial y las diferencias entre aulas, bloques de un mismo edificio y entre edificios. Se han estudiado en dos épocas distintas y en dos períodos de tiempo distintos, a lo largo de un curso académico. Finalmente, se han comparado los resultados en estos edificios de reciente construcción con los resultados obtenidos de un trabajo anterior en los edificios Guillem Colom y Mateu Orfila, más antiguos. El objetivo era comprobar si los diseños actuales mejoran la intensidad de luz incidente. En general, los resultados en los edificios analizados, son favorables superando el mínimo exigido por la normativa en aulas y biblioteca, y mejores que los resultados del trabajo anterior.

## Abstract

It is known that the light is very important for several aspects and the perception of it it's been explored in quite a few ways but it's its remarkable role for biology what this study will be focus on. Light is the most important zeitgeber, enough to cause a deregulate the circadian system and the alterations that this entails if there's a deregulation of the levels of the light. In this study, sensors measuring light intensity have been hung in the classrooms of the Melchor Gaspar Jovellanos (Jovellanos) and Antoni Maria Alcover Sureda buildings, as well as Jovellanos' library. Once the data were obtained, they were analyzed using a Student's t-statistic calculating the differences that could exist between classrooms, blocks of the same building and between buildings. In general, the results are favorable exceeding the minimum required by the European regulations in the classrooms and hovering around the value established by the same regulations in the library. There are some differences between the period of autumn-winter and spring-summer although the big difference is between the buildings of new construction compared to those of old construction, such Mateu Orfila and Guillem Colom. In this comparative study, it is concluded that in general the minimums are met to ensure a good job and an important improvement due to the new architectonics.

# Introducción

Antiguamente, Platón con el mito de la caverna nos presentaba la luz como aquello que dividía lo que era real de lo que no, al proyectar imágenes que los hombres creían reales pero que vivían en su propia oscuridad lejos del mundo real donde la luz lo iluminaba todo. El entendimiento de la luz ha ido variando, pasando por conceptos filosóficos hasta ser analizada científicamente y los seres humanos nos hemos centrado en esta diversidad de perspectivas, los físicos han desarrollado la óptica y se descubrió por ejemplo que los colores se obtenían a partir de la descomposición de la luz blanca. Por tanto, nuestra percepción y definición de luz ha ido cambiando con los años pero su importancia en los diferentes organismos biológicos es algo que se ha ido manteniendo.

Se ha demostrado que la exposición a la luz proporciona diferentes beneficios tanto a nivel fisiológico como mental, pero también tiene un gran impacto a nivel cultural ya que la vida se ha formado entorno a los ciclos de luz (Mead M. N., 2008). Durante el día es cuando los seres vivos diurnos presentan una mayor actividad mientras que durante la noche en ausencia de luz solar la actividad parece disminuir. La ciencia que estudia las adaptaciones a estos ciclos es la cronobiología. La cronobiología (del griego kronos “tiempo”, bios “vida” y logos “ciencia”) es la disciplina que estudia los cambios rítmicos o ritmos biológicos de los organismos. Un ritmo biológico es la recurrencia de un fenómeno biológico a intervalos regulares (Madrid, 2015). Los ritmos biológicos forman parte de la adaptación al medio por parte de los organismos siendo un factor clave para la supervivencia (LeGates et al., 2014). Así, la selección natural ha favorecido que todos los organismos, desde procariontes hasta la especie humana, posean relojes que generan oscilaciones con periodos de aproximadamente 24 horas regulando los ritmos circadianos, el más representativo, el ritmo sueño-vigilia, vinculado al día y a la noche respectivamente y por tanto a la exposición a la luz. La exposición diaria a la luz ambiental constituye el sincronizado más importante en humanos. La Luz sincroniza las funciones de los ritmos circadianos de acuerdo con las 24 horas del ciclo geofísico luz-oscuridad siendo así el principal sincronizador en humanos (Skene, 1999). La adaptación al ciclo luz-oscuridad es lo que conforma el sistema circadiano.

## I. El sistema circadiano

Como se ha comentado, este sistema forma parte de un proceso de adaptación al entorno, ya sea ante pequeñas alteraciones diarias o ante la propia rotación de la Tierra sobre su eje. Este fenómeno físico de aproximadamente 24 horas es lo que ayuda a determinar cuándo hay que dormir y cuando se está en periodo de actividad, ya que se ajustan a cuando hay luz y cuando hay oscuridad (LeGates et al., 2014).

Para que estos ritmos funcionen correctamente deben existir mecanismos que regulen y que ayuden a mantener la periodicidad con la que trabajan. Existen señales y un conjunto de estructuras que se encargarían de regularizar el funcionamiento del sistema, éstos conformarían los engranajes que harían funcionar el reloj biológico interno, los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo (NSQ) en el hipotálamo anterior del cerebro de los mamíferos (Martínez, 2009). Este marcapasos no sólo se encarga de asegurar el correcto devenir continuado de los ciclos sueño-vigilia, también es responsable de la temperatura corporal y la secreción de algunas hormonas (Ortiz-Tudela et al., 2012). El NSQ genera oscilaciones que sincroniza espontáneamente y las transmite al resto del organismo manteniendo en sincronía los procesos fisiológicos, bioquímicos y por ende conductuales.

Hay diversos factores, internos como externos, que ayudan a acompañar el sistema, son los denominados sincronizadores o Zeitgebers (literalmente “dador de tiempo” en alemán), que encarrilan la actividad de los ciclos haciendo que funcionen de una forma coordinada. La luz sería el Zeitgeber externo más importante, aunque hay otros que también influyen como la actividad física, los hábitos del sueño, horarios de alimentación y contactos sociales (Martínez-Nicolas et al., 2013; Roenneberg et al., 2003).

Por lo que respecta a los internos, aquellos con mayor influencia serían la temperatura corporal, el

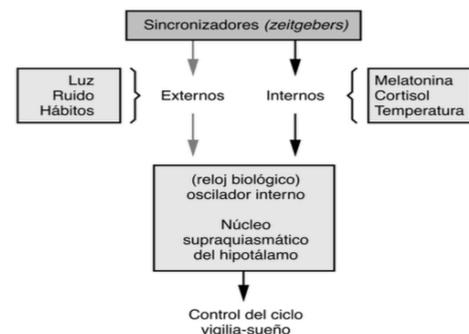
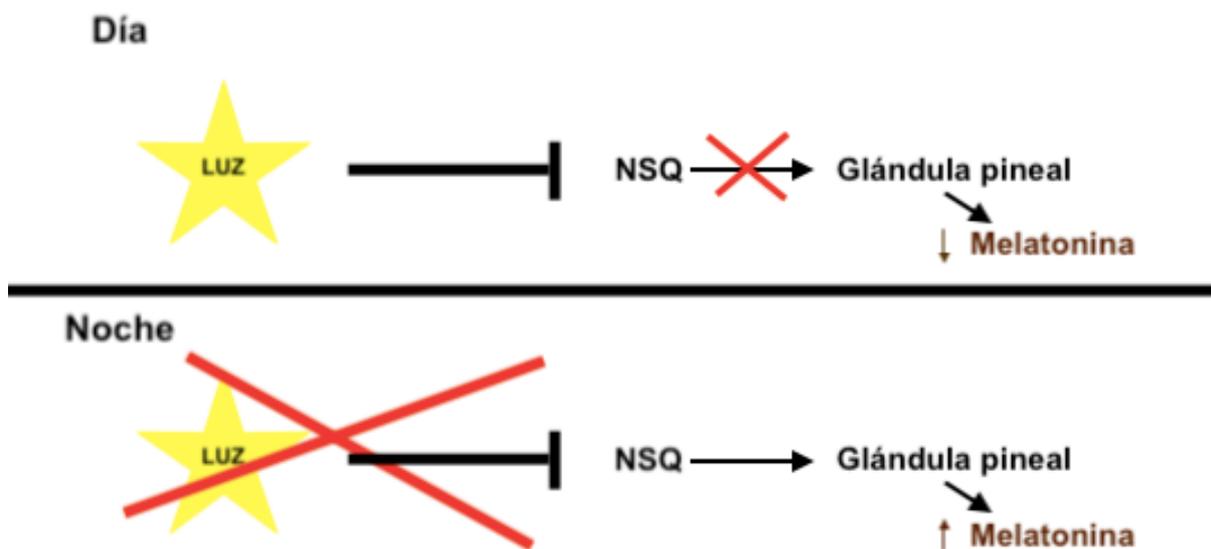


Figura 1. Representación de los Zeitgebers internos y externos (Estivill Sancho, 2002).

cortisol y la melatonina. Todos estos agentes son capaces de mantener encarrillado un ritmo endógeno, de forma que la alteración o debilitación de éstos podría dar lugar a una desincronización del sistema (Figura 1).

## **II. La importancia de la luz en la regulación del ciclo circadiano**

El cerebro está constantemente procesando miles de datos y recibiendo millones de señales, una de las entradas de información más importante es la luz, la cual es captada por la retina y a través del tracto retinohipotalámico llega a los núcleos supraquiasmáticos y a la glándula pineal (Ángeles-Castellanos et al., 2007; Güler et al., 2008). Esta conexión es fundamental para el control del sistema en los vertebrados ya que es capaz de producir y secretar melatonina durante el periodo de oscuridad, fluctuando los niveles de esta hormona según en presencia o ausencia de luz. Esto es debido a que la glándula pineal tiene capacidad fotorreceptora. El trayecto que recorrería la señal lumínica en su procesamiento como señal sincronizadora se representa en la figura 2..



**Figura 2.** Esquema del funcionamiento coordinado entre el NSQ y la glándula pineal para la producción de melatonina según la incidencia de luz.

El NSQ y la glándula funcionan de manera coordinada, el primero es quien señala a la glándula la presencia o ausencia de luz, regulando así la producción y secreción de melatonina. Cuando la luz incide en la retina y acaba llegando al NSQ, la actividad de éste se inhibe y la comunicación con la glándula pineal no es efectiva para producir la hormona. En cambio, cuando se está en un periodo de oscuridad la incidencia de luz es mínima o inexistente de manera que NSQ puede mantener su actividad y su comunicación con la glándula pineal es efectiva, estimulando la producción de melatonina (Madrid et al., 2006).

La melatonina se sintetiza a partir de la serotonina y es liberada al torrente sanguíneo donde se distribuye a todos los órganos. La secreción durante la noche es constante, dado que la vida media de la melatonina es de 30 minutos. La secreción de melatonina disminuye con la edad (Karasek, 2004). Esta hormona se ha visto que ayuda a mejorar comportamientos depresivos y ansiedad (Nie et al., 2017) pero su papel principal es como reguladora del ciclo circadiano. (Guerrero et al., 2007). A lo largo del día hay un equilibrio entre el ritmo circadiano endógeno regulado por la melatonina y el ciclo sueño-vigilia y el NSQ contrarresta el aumento del cansancio manteniendo la vigilia y evitando necesidad de dormir. No obstante, si se alarga el periodo de vigilia más de lo habitual esta coordinación entre sistema circadiano con el día y la noche se pierde. En oscuridad aumenta la concentración de melatonina y la función neuroconductual disminuye y el NSQ promueve el sueño (Escames et al., 2009).

A veces se pueden producir anomalías en los zeitgebers que pueden traducirse en alteraciones en el sistema circadiano produciendo el fenómeno de cronodisrupción. Se define como un desajuste del reloj endógeno central y del resto de los ritmos biológicos, y se ha visto que puede producir problemas de salud tanto a corto como a largo plazo, aumentando el riesgo de enfermedades cardiovasculares y alteraciones del sueño, deterioro cognitivo y/o afectivo y envejecimiento precoz (Ortiz-Tudela et al., 2012). La cronodisrupción se considera de origen multifactorial. Un posible factor desencadenante en la sociedad moderna podría ser la elevada exposición a intensidades de luz durante la noche en las longitudes de onda azul (como las luces de pantallas) la cual podría desregular al NSQ y producir así las alteraciones subsiguientes en el sueño y el descanso, provocando inestabilidad o desaparición del ciclo (Gronfier et al., 2007) y a la larga no sólo influiría en el sueño sino también en alteraciones del estado de ánimo y función cognitiva. Tan importante es la luz diurna como la oscuridad nocturna para un buen ajuste del ritmo sueño-vigilia, a partir de la secreción de melatonina. La perturbación cognitiva y conductual es desencadenada por la variación de los niveles de cortisol y melatonina, dos de las señales humorales más importantes en relación a la transmisión lumínica (Rol de Lama et al.).

El “jet lag” y los cambios de horario serían modificaciones del tiempo de una persona, que se han desarrollado con la intención de ajustar las demandas energéticas a la exposición de luz que varían según el periodo primavera-verano y otoño-invierno. No obstante, hay evidencias de que estos cambios de hora tienen su repercusión sobre las funciones mentales y fisiológicas ya que también implica un cambio en el horario de las funciones y descanso (Ramírez et al., 1994). En el caso del “jet lag” el cambio puede ser suficientemente grande como perder el equilibrio entre el sueño-vigilia respecto a la exposición de luz (día y noche) pudiendo desregular otros ciclos internos (Portocarrero et al., 2006).

Para evitar la problemática de la cronodisrupción, por la exposición inadecuada de luz, y para promover los beneficios de la exposición a la luz, está emergiendo lo que se conoce como la terapia lumínica o luminoterapia. Consiste en ajustar o más bien corregir los desajustes en la intensidad o cantidad de horas de luz y de esta manera incidir en la mejora de la calidad de vida (Krysta et al., 2012).

### **III. Luz en los ambientes educativos**

A partir de los efectos de la luz y su papel en la secreción de la melatonina, se pueden explicar sus consecuencias sobre el rendimiento, la atención o el estado de ánimo, ya sea por la sincronización circadiana o por su papel en el ciclo sueño-vigilia. Debido a ello, cada vez son más los estudios que conciencian de la importancia de la luz en los ambientes educativos y su impacto sobre el rendimiento y la atención y la duración del sueño (Wienold, 2006).

Si bien la tecnología en el campo de la iluminación artificial ha evolucionado mucho en relación a una mayor eficiencia energética en las iluminarias, siguen generando un coste demasiado elevado. El contar con una buena exposición a la radiación solar representa, en términos de eficiencia y a muy bajo coste, una alternativa altamente eficaz, principalmente en lugares como Mallorca, por ejemplo, donde las horas anuales de luz solar son del orden de 2800, de las más elevadas de España y de buena parte de Europa (<https://globalsolaratlas.info/>). La iluminación natural en edificios escolares es una de las características físicas más influyentes del aula y debe ser considerada una variable más del ambiente educativo por sus repercusiones en la atención y el rendimiento (Galasiu, 2009; Webb, 2006; Wienold, 2006).

Profundizar en el diseño de edificios con cálculos predictivos dinámicos del aprovechamiento de la luz solar, debería ser prioritario en ambientes educativos, escuelas y universidades, sin obviar, claro está, oficinas y lugares de trabajo, instituciones, hospitales y en el propio domicilio. La duración, el tiempo, la intensidad y la distribución de la potencia espectral de la luz que llega a los ojos pueden influir en el ritmo circadiano humano y, por consiguiente, en la salud. Dado el importante impacto de las respuestas no visuales en el bienestar de las personas, desarrollar un modelo que permita a los diseñadores de iluminación predecirlas, es un objetivo fundamental.

#### **IV. Normativa Europea para centros educativos**

Dada la importancia de una correcta exposición y para de esta manera mejorar el trabajo en lugares públicos, la Unión Europea, el Parlamento y el Consejo redactó y publicó en el año 2002 la Directiva 2002/91/CE relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios con aplicación obligatoria de todos los estados miembros. Con esta medida no sólo se pretende aumentar la eficiencia energética sino que también se normaliza los mínimos de intensidad lumínica (expresado en Lux) para cada situación, sea una institución pública, hospital o aula.

<b>Tipo de interior, tarea y actividad</b>	<b><math>E_m</math> lux</b>
Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200
Salas de profesores	300
Biblioteca: estanterías	200
Biblioteca: salas de lectura	500
Aulas, aulas de tutoría	300
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500
Sala de lectura	500
Pizarra	500
Aulas de prácticas y laboratorios	500

**Figura 3.** Tabla con la normativa europea para Establecimientos Educativos (CE 2002). “ $E_m$ ” luminaria media horizontal: valor medio de la iluminancia horizontal en la superficie considerada.

Según la normativa, la intensidad lumínica no debe ser inferior a los 300 Lux en las aulas y las zonas de trabajo en general, para asegurar, entre otros, un trabajo relativamente eficiente. Hay que destacar que es significativamente baja en comparación con las zonas abiertas donde se alcanzarían valores entre 2000 - 100000 Lux, según si está nublado o despejado. Lo más frecuente suelen ser intensidades comprendidas entre 50 y 200 Lux, que son aquellas cercanas al umbral necesario para tareas de lectura y/o escritura aunque distan del mínimo necesario para sincronizar de forma correcta el ciclo circadiano (Martinez-Nicolas et al., 2013).

Es importante destacar que los valores indicados en la tabla de la Figura 3 se establecieron aún sin disponer de información suficiente sobre los efectos cronobiológicos de la luz y de hecho, la luz artificial en los espacios de interior no acostumbra a superar los 1000 Lux.

## Hipótesis y objetivos

La mayoría de estudios sobre el ritmo circadiano son realizados en un laboratorio bajo unas condiciones predeterminadas que se mantienen estables. La importancia de este estudio se basa en el análisis, en condiciones reales y no estables, de la exposición real a la luz de diversas aulas de los edificios Jovellanos y Antoni Maria Alcover Sureda. Se ha tenido en cuenta los antecedentes de un estudio previo realizado en aulas del Guillem Colom y Mateu Orfila así como también lo establecido por la normativa. En principio se podría esperar una mejora en la exposición a la luz, respecto a los resultados anteriores, dado el diseño arquitectónico más reciente de los edificios analizados.

### **Objetivos del estudio;**

1. Registrar la intensidad de luz de diversas aulas con distinta orientación y nivel de los edificios Jovellanos y Antoni M. Alcover
2. Determinar si la intensidad de luz total acumulada en las aulas registradas cumple los requisitos mínimos exigidos por la normativa vigente de la UE sobre la iluminación en los centros educativos.
3. Comparar el promedio de la intensidad de luz a lo largo de 24 horas en una semana lectiva y en una semana no lectiva, en las aulas registradas
4. Comparar el promedio de la intensidad de luz a lo largo de 24 horas en dos épocas diferentes por un lado el horario otoño-invierno (solsticio de invierno) y por el otro el horario primavera-verano (equinoccio de primavera).
5. Comparar la intensidad de luz total acumulada en las aulas registradas con la obtenida en resultados anteriores, en los edificios Mateu Orfila y Guillem Colom.

## Material y métodos

Se pretende observar si las aulas reciben la luz mínima necesaria para asegurar una buena concentración y un adecuado rendimiento académico, estipulado a partir de la normativa.

Se han seleccionado las siguientes aulas del Jovellanos en base a la orientación y a las distintas plantas (Figura 6):

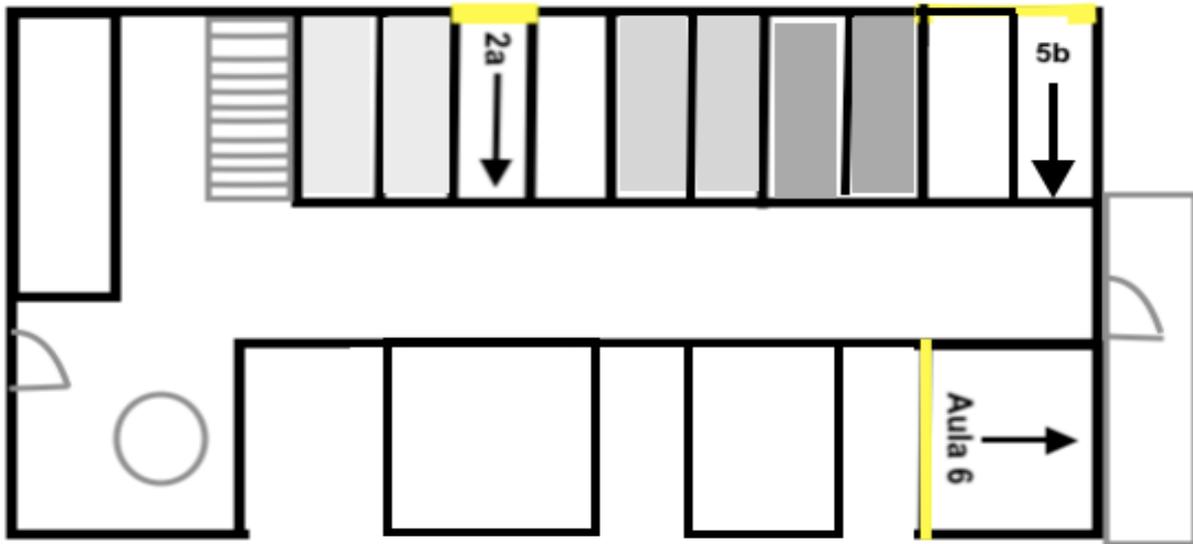
- En la planta baja la AA1
- En la primera planta están; AA11, AB14 Y AI3
- En la segunda planta AB27 y AV3.

También se han colocado sensores en la biblioteca del mismo edificio.



**Figura 4.** En el mapa de la universidad están señalados mediante un círculo en rojo aquellos edificios seleccionados y la orientación que tienen respecto a los puntos cardinales. **A.** Planta baja del edificio Jovellanos, está señalada el aula AA1 con la orientación de la pizarra y situación de las ventanas. **B.** Primer piso del edificio Jovellanos, están señaladas las aulas AA11, AB14 y AI3 con la orientación de la pizarra y situación de las ventanas. **C.** Segundo piso del edificio Jovellanos, están señaladas las aulas AB27, AV3 y la biblioteca con la orientación de la pizarra y situación de las ventanas.

Por lo que respecta al edificio Antoni Maria Alcover Sureda, se han seleccionado las siguientes aulas, todas de la misma planta y en base también a la orientación: aula 2a, aula 5 y aula 6 (Figura 5).



**Figura 5.** Esquema del primer piso del edificio Antoni Maria Alcover Sureda con las aulas seleccionadas marcadas (aulas 2a, 5 y 6), señalizando orientación de las ventanas y la pizarra.

Los sensores utilizados para el registro de la intensidad de luz son sensores Hobo Pendant® Onset Computer Corporation (Bourne, Massachusetts, USA) que almacena datos de intensidad de luz (en unidades de lux) cada 15 minutos y se descargan con el software HOBOWare (Figura 6).



**Figura 6.** Sensor de luz Hobo Pendant® Onset Computer Corporation (Bourne, Massachusetts, USA), tiene unas medidas de 25 x 20 x 10 mm.

Los sensores se colocaron en el centro de la sala, a 1,80m del suelo aproximadamente, para obtener la mejor medida posible de la luz total que recibe cada aula.

Se escogieron dos periodos de tiempo para poder observar las diferencias entre el horario otoño-invierno y el horario primavera-verano durante 3-4 semanas:

- Periodo 1. Entre el 26/03/2018 hasta el 16/04/2018, de manera que abarcaba semana lectiva y no lectiva (vacaciones de Pascua) cercanas al equinoccio de primavera. Se registraron así, 11 días lectivos (26/03/2018-28/03/2018 y 9/04/2018-16/04/2018) y 11 días no lectivos (29/03/2018 hasta 8/04/2018).
- Periodo 2. Entre el 18/12/2018 hasta el 13/01/2019, abarcando nuevamente una semana lectiva y una semana no lectiva (vacaciones de navidad) cercano al solsticio de invierno. Se registraron así, 12 días lectivos (18/12/2018 - 23/12/2018 y 7/01/2019 -14/01/2019) y 12 días no lectivos (24/12/2018 hasta 6/01/2019).

Es importante destacar que al tratarse de un estudio en una institución pública como es la Universitat de les Illes Balears, se solicitó el permiso del administrador de centros, Sr. Miquel Horrach, para poder llevar a cabo las mediciones. Cada aula contaba con un único sensor colocado en el centro del habitáculo a excepción de la biblioteca del edificio Jovellanos, la cual al ser de grandes dimensiones se colocaron 3 sensores, uno bajo el altillo y dos distribuidos a lo largo de la biblioteca.

### **Análisis de datos**

Una vez obtenidos los registros, se descargaban con el software HOBOWare® para proceder al análisis de los datos. Se obtenían los datos en formato txt para su posterior análisis y representación gráfica.

De los datos se calculó el promedio  $\pm$  SD (standard derivation) de la intensidad lumínica registrada durante 24 horas (intensidad de luz continua) y el promedio  $\pm$  SEM (estándar error of the mean) de la intensidad lumínica acumulada durante las horas de docencia. En los dos casos se diferenció entre periodo lectivo y no lectivo y entre las dos épocas registradas. Se compararon los datos según estadística t-student (SPSS) y se calcularon las diferencias significativas en los datos obtenidos. Después de considerar t-Student para muestras relacionadas (SPSS), se considera significativo un nivel de probabilidad inferior a 0.05 (\* $p < 0.05$ ); \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.01$ .

A la hora de representar gráficamente los resultados se introdujo el valor mínimo exigido por la normativa de la comunidad europea referente a los espacios educativos, es decir, 500 Lux para la biblioteca y 300 Lux para las aulas.

Como ya se ha dicho, se diferenció entre período lectivo, con actividad en las aulas, y período no lectivo, donde la única luz posible sería la natural al no haber ningún tipo de actividad docente. En las gráficas estas diferencias se ven reflejadas juntamente a la referencia que dicta la normativa, tanto en aquellas que reflejan el periodo otoño-invierno como aquellas que representan primavera-verano. Es importante destacar que en el periodo primavera-verano, las fechas elegidas coinciden con las vacaciones de Pascua y el cambio de hora, lo que supone la adición de una hora de sol al periodo lectivo.

## Resultados

Los datos se presentan en diversas gráficas según el periodo, aula, etc. Se señala la intensidad lumínica establecida por la normativa con una línea negra (300 Lux). Hay que tener en cuenta, que cada aula tiene un uso diferente y que la gente que ocupa esos espacios puede hacerlo en horarios variables. La intensidad lumínica que se cuantifica es la suma de la obtenida de forma natural junto con las luminarias. La orientación de las ventanas y dónde se dispone la pizarra y el proyector es otro factor importante. En este estudio casualmente todas las aulas están dispuestas y organizadas con la misma orientación, todas con las ventanas al norte a excepción del aula 6 del edificio Antoni Maria Alcover Sureda (orientada hacia el oeste) la biblioteca y las pizarras están todas dispuestas en dirección este, salvo las aulas 2a y 5b del edificio de postgrado.

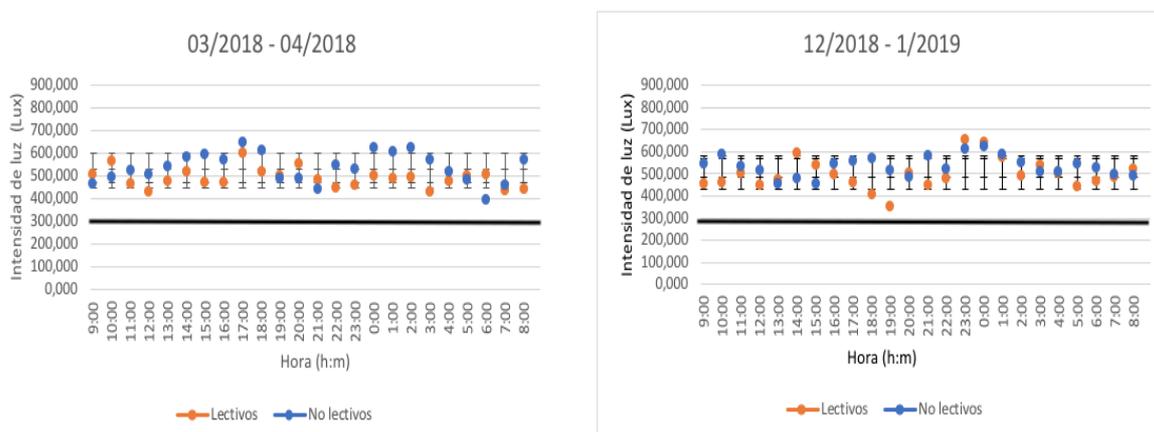
Para diseñar las gráficas partimos de los promedios de intensidad lumínica calculados en 24 horas, para cada edificio y aula analizada, diferenciando entre periodo lectivo y no lectivo y entre época de otoño-invierno (solsticio de invierno) y primavera-verano (equinoccio de primavera), como ya se ha mencionado. Para establecer comparaciones utilizamos los promedios de luz total acumulada (en Lux).

Cabe mencionar como incidencia, que inicialmente el estudio se llevó a cabo con un número de aulas mayor, pero debido a circunstancias externas (desaparición del sensor por causas desconocidas) no pudimos contar con ellas. Otro hecho mencionable, es que en todos los casos las intensidades de luz por la noche no se diferenciaban apenas de las registradas durante el día. Se llegó a la conclusión de que se produjo porque las épocas de registro coincidían con plenilunio (luna llena).

### I. Aulas del edificio Melchor Gaspar Jovellanos

#### a. Aula AA1

La intensidad lumínica recibida en ambos periodos supera lo establecido por la normativa (CE 2002); aunque hay diferencias significativas entre el periodo lectivo y no lectivo en época primavera-verano que no se presentan en la época otoño-invierno ( $p=0,02$ , tras t-student para medias relacionadas). Tampoco hay diferencias entre ambos horarios, (figura 7).

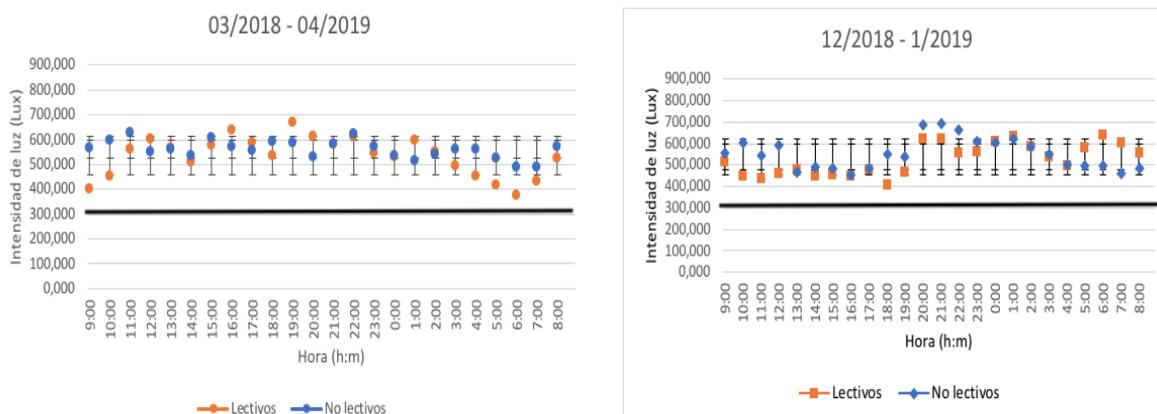


**Figura 7.** Valores de intensidad lumínica (Lux) expresados en promedio por hora  $\pm$  SD, en un periodo de 24 horas, diferenciando periodos lectivos de los no lectivos. A la izquierda aquellos obtenidos en el horario primavera-verano y a la derecha los correspondientes al horario otoño-invierno. Señalado por una línea más gruesa el valor establecido por la normativa  $p=0,02$

#### b. Aula AB14

Los registros en esta aula siguen siendo favorables respecto a la normativa establecida. Al comparar los registros de las semanas lectivas con las no lectivas no se han encontrado diferencias

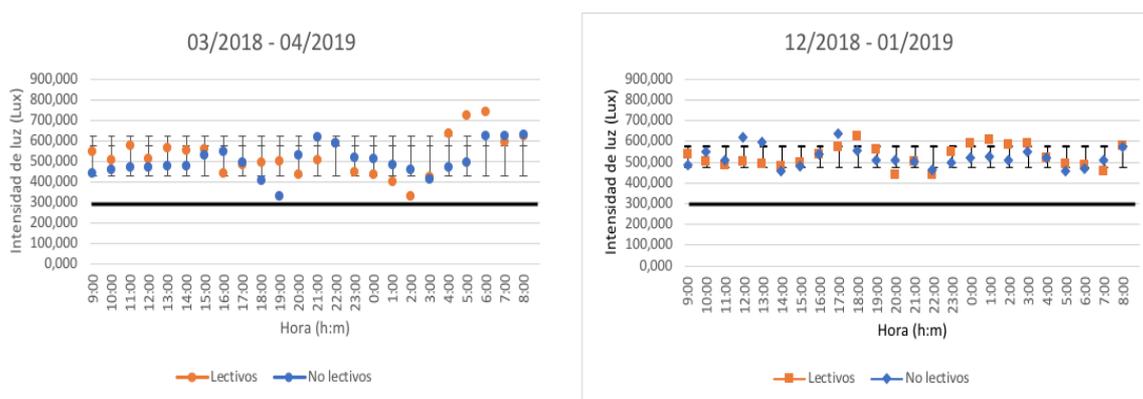
significativas que aseguren una intensidad diferencial dada su actividad. Tampoco se han encontrado diferencias significativas entre ambas épocas registradas, (Figura 8).



**Figura 8.** Valores de intensidad lumínica (Lux) expresados en promedio por hora  $\pm$  SD, en un período de 24 horas, diferenciando periodos lectivos de los no lectivos. A la izquierda aquellos obtenidos en el horario primavera-verano y a la derecha los correspondientes al horario otoño-invierno. Señalado por una línea más gruesa el valor establecido por la normativa.

### c. Aula AI3

Esta es un aula de informática que suele mantenerse abierta, de manera que a pesar de que pueda impartirse docencia es también un aula de paso con más o menos frecuencia. No se han encontrado diferencias significativas entre semanas lectivas y no lectivas, así como tampoco entre épocas. En general, se mantiene una intensidad superior al mínimo exigido por la normativa para las aulas (Figura 9).



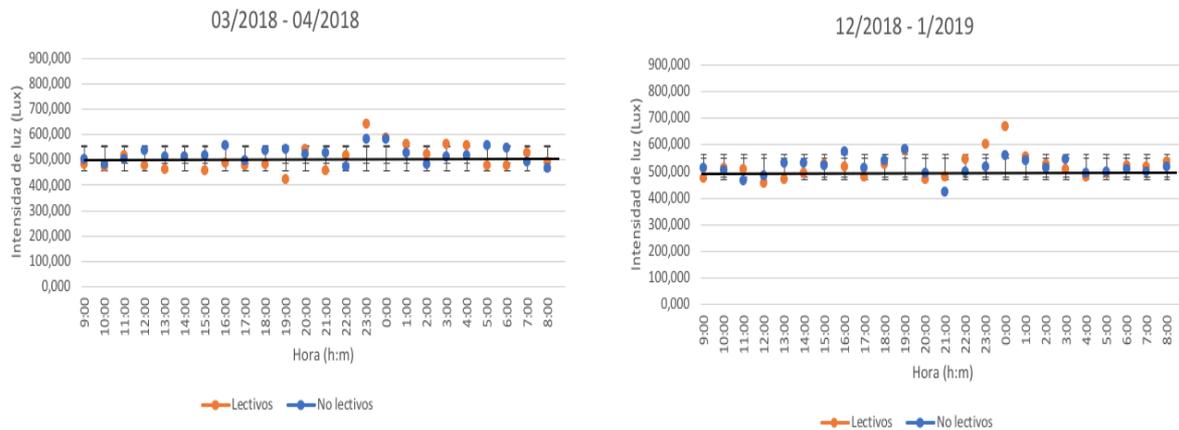
**Figura 9.** Valores de intensidad lumínica (Lux) expresados en promedio por hora  $\pm$  SD, en un período de 24 horas, diferenciando periodos lectivos de los no lectivos. A la izquierda aquellos obtenidos en el horario primavera-verano y a la derecha los correspondientes al horario otoño-invierno. Señalado por una línea más gruesa el valor establecido por la normativa.

## II. Biblioteca del edificio Melchor Gaspar Jovellanos

Inicialmente, se colocaron 3 sensores en la biblioteca dadas sus dimensiones; 1 bajo el altillo y dos distribuidos en la zona más extensa (que queda fuera del altillo). A la hora de comparar resultados obtenidos entre los registros de los 3 sensores se ha observado que no presentan diferencias significativas entre las zonas establecidas para cada sensor por lo que se han unificado en una sola gráfica. Las ventanas están ubicadas en la zona superior a ambos lados del altillo y cubren gran

parte del ascenso al techo el cual es lo suficientemente elevado como para no poder alcanzar las vigas con la escalera, motivo por el cual no se ha probado a poner sensores en esa zona.

En este caso, la normativa dicta que para bibliotecas la intensidad de luz mínima debe ser 500 (Lux) y en general, los valores rozan ese límite. No se aprecian diferencias significativas entre semanas lectivas y no lectivas, así como tampoco parece afectar a la intensidad de luz el cambio de horario. (Figura 10).

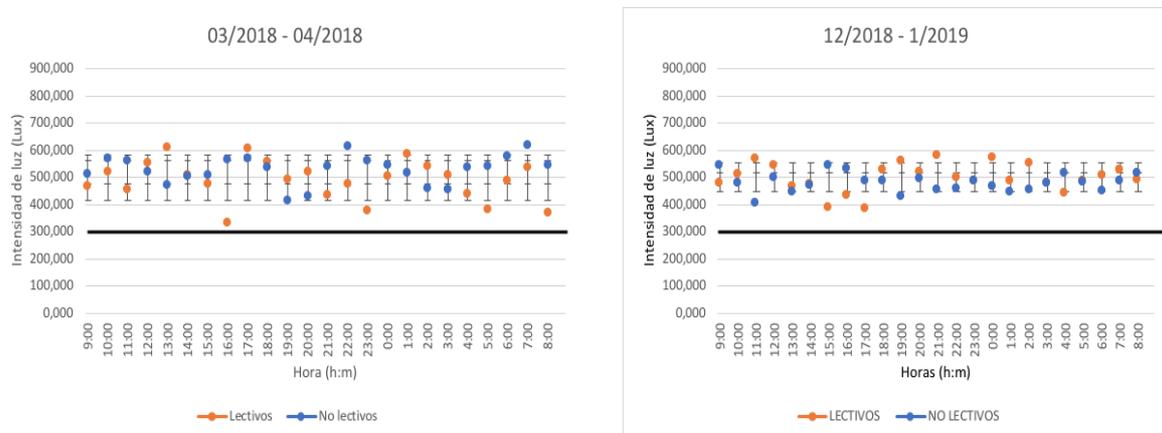


**Figura 10.** Intensidad de luz (Lux) promedio  $\pm$  SD en cada hora, en un periodo de 24 horas, dividiendo las semanas lectivas de las no lectivas. Gráfica de la izquierda representa el horario primavera-verano y la derecha otoño-invierno. Señalado por una línea más gruesa el valor establecido por la normativa.

### III. Aulas del edificio Antoni Maria Alcover Sureda

#### a. Aula 2a

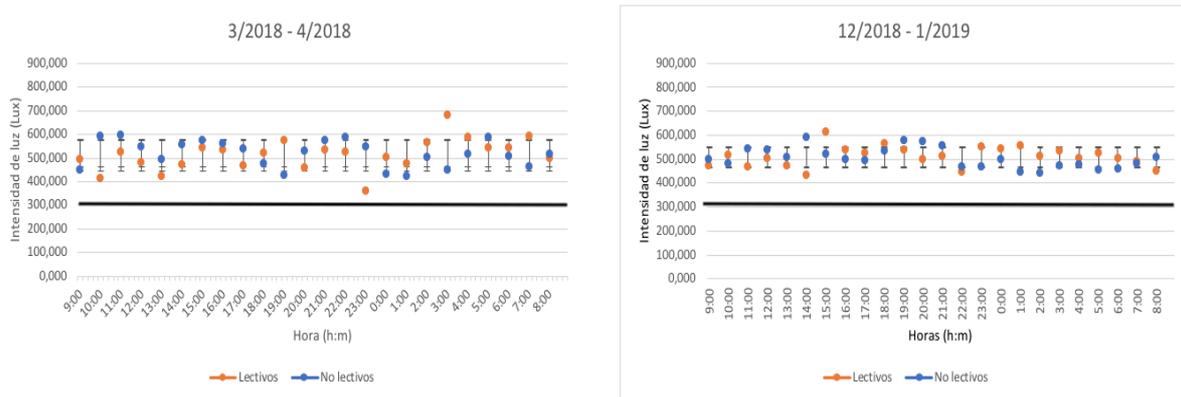
En esta aula se observan registros superiores al mínimo exigido, en todo momento, incluso en las horas nocturnas, nuevamente se cree que por la existencia de plenilunio coincidente con las fechas de registro. Durante el horario primavera-verano se han observado diferencias significativas entre el periodo lectivo y no lectivo ( $p = 0.04$ , tras t-students para muestras relacionadas). En el periodo no lectivo se pueden apreciar también las diferencias, altamente significativas, entre los dos horarios primavera-verano y otoño-invierno (tras t-students para muestras relacionadas,  $p = 0.001$ ; Se considera significativo un nivel de probabilidad inferior a 0.05 ( $p < 0.05$ ), muy significativo  $p < 0.01$  y  $p < 0.001$ ) (Figura 11).



**Figura 11.** Valores de intensidad lumínica (Lux) expresados en promedio por hora  $\pm$  SD, en un periodo de 24 horas, diferenciando periodos lectivos de los no lectivos. A la izquierda aquellos obtenidos en el horario primavera-verano y a la derecha los correspondientes al horario otoño-invierno. Señalado por una línea más gruesa el valor establecido por la normativa.

## b. Aula 5b

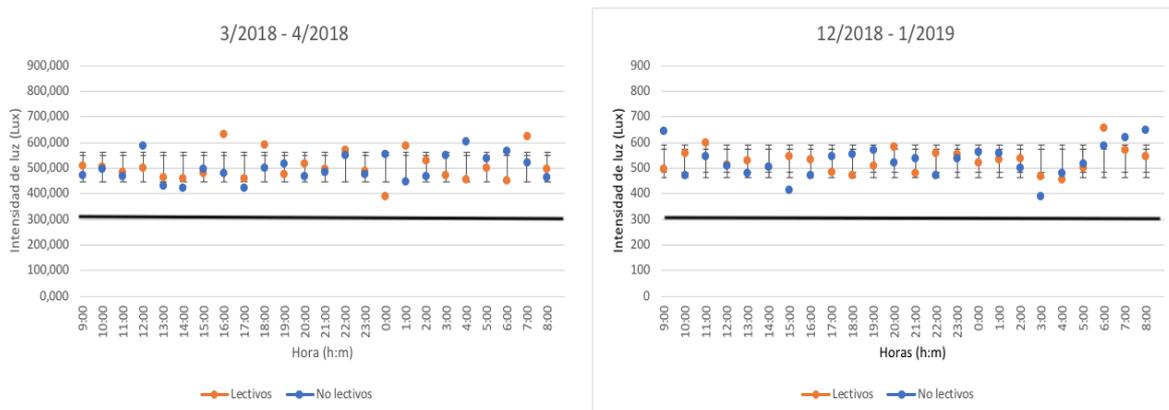
Al compararse los registros se puede apreciar que en todo momento la intensidad de luz supera el mínimo establecido por la normativa. Entre periodos lectivos y no lectivos no hay diferencias significativas, así como tampoco las hay entre los horarios primavera-verano y otoño-invierno, (Figura 12).



**Figura 12.** Valores de intensidad lumínica (Lux) expresados en promedio por hora  $\pm$  SD, diferenciando periodos lectivos de los no lectivos. A la izquierda aquellos obtenidos en el horario primavera-verano y a la derecha los correspondientes al horario otoño-invierno. Señalado por una línea más gruesa el valor establecido por la normativa.

## c. Aula 6

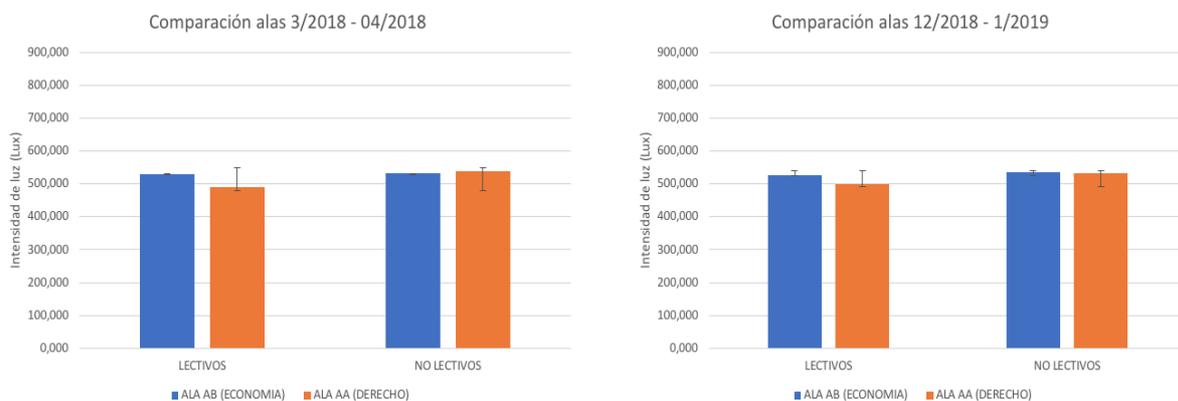
Esta aula presenta una orientación diferente respecto a las otras aulas del edificio, las ventanas están orientadas hacia el oeste y la pizarra al este. Aun así, no se han encontrado diferencias significativas entre semanas lectivas y no lectivas, así como tampoco entre horarios. En general, se mantiene una intensidad superior al mínimo exigido por la normativa para las aulas. Se podría decir que se mantiene en unos valores constantes que ronda los 500 Lux de media, (Figura 13).



**Figura 13.** Valores de intensidad lumínica (Lux) expresados en promedio por hora  $\pm$  SD, en un periodo de 24 horas, diferenciando periodos lectivos de los no lectivos. A la izquierda aquellos obtenidos en el horario primavera-verano y a la derecha los correspondientes al horario otoño-invierno. Señalado por una línea más gruesa el valor establecido por la normativa

#### IV. Comparación entre las alas del edificio Melchor Gaspar Jovellanos en relación a la intensidad de luz total acumulada

El edificio Jovellanos presenta una estructura cerrada uniendo dos U, tal como se aprecia en los planos (Fig. 4). Por lo tanto, a pesar de tener un nexo común se observan dos bloques diferenciados, el ala derecha (AA) corresponde a las aulas de la Facultad de Derecho y el ala izquierda (AB) se corresponde con las de la Facultad de Economía. Como ambos bloques son idénticos en estructura y orientados de la misma forma, se procedió a la comparación entra aulas de distinto bloque y de distintos pisos, (Figura 14). Después de comprobar que no había diferencia entre los distintos pisos de cada bloque (resultados no presentados), se calculó el promedio de intensidad de luz total acumulada en las aulas de los dos bloques. La comparación se hizo teniendo en cuenta, como en los otros casos, período lectivo y no lectivo, y las dos épocas registradas. En cada gráfica interés comparar las diferencias entre dos alas distintas en los dos periodos, lectivo y no lectivo, (barra azul-barra naranja) y las diferencias dentro de las mismas alas entre periodo lectivo y no lectivo (barras azules entre ellas y barras naranjas entre ellas).

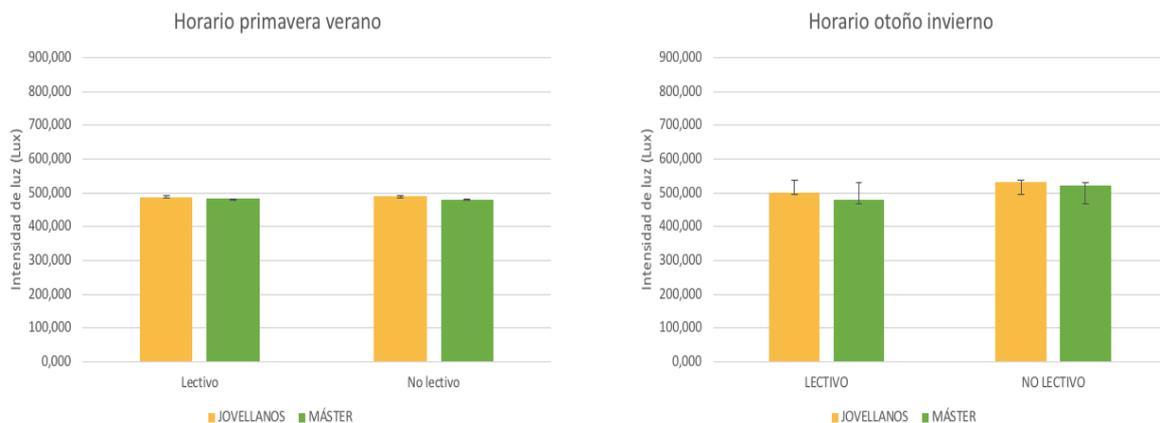


**Figura 14.** Valores de intensidad lumínica (Lux) total  $\pm$  SD dentro de cada bloque; AB (Economía) en azul y AA (Derecho) en naranja, diferenciando periodos lectivos de los no lectivos. A la izquierda aquellos obtenidos en el horario primavera-verano y a la derecha los correspondientes al horario otoño-invierno.

En las fechas 3/2018-4/2018, (gráfica de la izquierda) se observaron diferencias significativas en el periodo lectivo entre las dos alas (parte izquierda) ( $p = 0.002$ , tras t-students para muestras relacionadas). En cuanto a la comparación entre las misma alas se observaron diferencias significativas entre el periodo lectivo y no lectivo en las alas AA ( $p = 0.003$ , tras t-students para muestras relacionadas). Por lo que respecta a 12/2018-1/2019, no se han encontrado diferencias entre las dos alas, en los dos periodos, lectivo y no lectivo. En cuanto a la comparación entre las misma alas, solo se han encontrado diferencias significativas entre el periodo lectivo y no lectivo en el ala AA ( $p = 0.039$ , tras t-students para muestras relacionadas). Al compararse las dos gráficas, no se observan diferencias significativas entre las dos épocas, por lo que la estación no parecería afectar a la intensidad de luz recibida.

## V. Comparación de la intensidad de luz incidente entre los edificios de nueva construcción

Uno de los objetivos era “Determinar los efectos de la organización arquitectónica de las aulas, concretamente su disposición de las ventanas y sistemas lumínicos”. Previamente se ha comentado que las aulas en ambos edificios están orientadas en el mismo sentido con las ventanas orientadas al norte, salvo el aula 6 del edificio de postgrado que las sitúa al oeste, y que la pizarra se encuentra en dirección este a excepción de las aulas 2a y 5b del edificio Antoni Maria Alcover Sureda que las orienta al sur. Salvando estas pequeñas diferencias, en cuanto a orientación y disposición de los elementos se observan similitudes, por lo que se procedió a comparar la intensidad de luz (Lux) total recibida en cada edificio, para comprobar que este parecido arquitectónico se traduce también en patrones de luz similares.



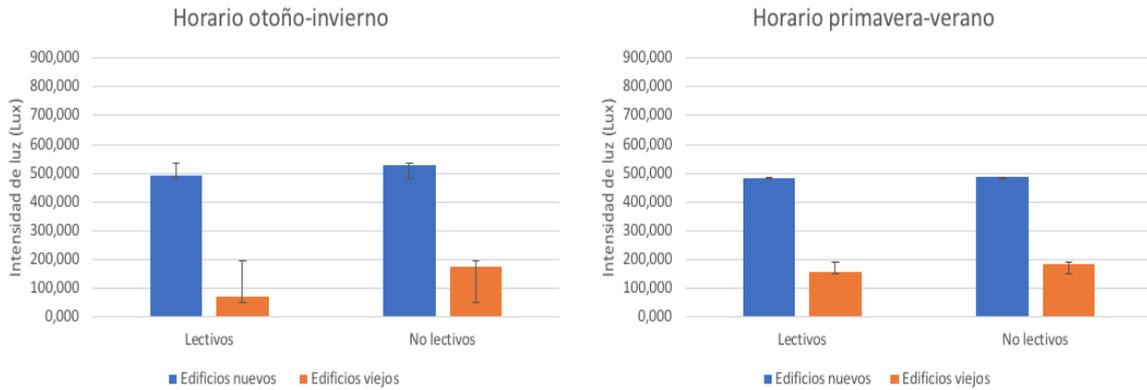
**Figura 15.** Comparación de la intensidad lumínica incidente (Lux) total  $\pm$  SD en cada edificio; Jovellanos (amarillo) y Antoni Maria Alcover Sureda (verde), diferenciando periodos lectivos de los no lectivos. A la izquierda aquellos obtenidos en el horario primavera-verano y a la derecha los correspondientes al horario otoño-invierno.

En el horario primavera-verano se compararon, nuevamente, los periodos lectivos y no lectivos de cada edificio y no se encontraron diferencias significativas. Por tanto, la intensidad de luz recibida es similar, al menos en cuanto a esta estación se refiere y, en ambos edificios, la intensidad total recibida en las aulas supera el mínimo exigido por la normativa. Durante el horario de invierno, en el edificio Jovellanos, entre los períodos lectivos y no lectivos se observaron diferencias ( $p=0.016$ , tras t-students para muestras relacionadas), y lo mismo en el edificio Antoni Maria Alcover Sureda ( $p=0.0000$ , tras t-students para muestras relacionadas). Las comparaciones entre los periodos lectivos y no lectivos de los edificios entre sí, mostraron diferencias significativas ( $p=0.000$ , tras t-students para muestras relacionadas, en ambos casos)

## VI. Comparación de la intensidad de luz incidente entre los edificios de antigua y nueva construcción

De acuerdo al último objetivo del estudio se procedió a comprobar si las nuevas tendencias arquitectónicas suponen una mejora frente a las antiguas construcciones en cuanto a exposición de luz. Partimos de un estudio previo (García, S, 2017) que analizó la luz incidente de los edificios de la UIB, Guillem Colom y Mateu Orfila, de antigua construcción respecto a los analizados.

La orientación de los edificios es diferente a la de los nuevos y la distribución de los espacios y la disposición de los diversos elementos (ventanas, luces, pizarra) varía también. Los resultados se presentan en la figura 16.



**Figura 16.** Valores de intensidad luminica (Lux) total  $\pm$  SD recibida en edificios nuevos (azul) y edificios viejos (naranja), diferenciando periodos lectivos de los no lectivos. A la izquierda aquellos obtenidos en el horario primavera-verano y a la derecha los correspondientes al horario otoño-invierno.

Para comparar los dos tipos de edificios (de antigua y nueva construcción) se agruparon los resultados de los edificios Jovellanos y Antoni M. Alcover, teniendo en cuenta solo los registros de las aulas que no presentaban diferencias significativas entre ambas.

A pesar de que los edificios antiguos presentan una orientación y disposición muy distinta los resultados de incidencia de luz son tan bajos en relación a los nuevos, (Figura 16) que cabe esperar que sea el diseño de construcción de exposición a la luz, la que marca las diferencias. Los edificios nuevos parecen mantener niveles más o menos constantes entre las dos estaciones, a diferencia de los edificios antiguos. La diferencias, altamente significativas entre los dos tipos de edificios, se presentan en los dos períodos y en las dos épocas (tras t-students,  $p=0.000$ , en los dos casos).

Los edificios más antiguos, parecen tener dificultades para llegar al mínimo exigido por la normativa (300 Lux) rondando una media de unos 150 Lux que sería la mitad de lo estipulado para aulas. En el trabajo realizado por Sergio García, donde se analizaban las intensidades de luz en las aulas de estas edificaciones, se describían diferencias significativas incluso dentro de las mismas aulas (más de un sensor colocado). Por lo que respecta a la media de esas construcciones, en horario otoño-invierno hay diferencias significativas entre las semanas lectivas y las no lectivas ( $p=0.035$ , tras t-students para muestras relacionadas ) aunque al cambiar al horario primavera-verano desaparecen estas discrepancias. Al comparar ambas estaciones, se encuentran diferencias muy significativas ( $p=0.0002$ , tras t-students para muestras relacionadas) en las semanas lectivas de los edificios viejos siendo en navidades  $71,96 \pm 30,28$  y en pascua  $156,29 \pm 97,51$ . Entre los periodos no lectivos no se encuentran diferencias.

Una vez analizado cada set, al compararlos se observan diferencias significativas ( $p=0.000$ , tras t-students para muestras relacionadas) entre los días lectivos de los edificios viejos respecto a los nuevos, así como también en los días no lectivos ( $p=0.000$ , tras t-students para muestras relacionadas) en horario otoño invierno. Se ha visto que las intensidades en los edificios viejos mejoraban en el horario primavera-verano, aun así, son insuficientes y también se observan diferencias significativas entre los días lectivos en ambos sets al igual que los días no lectivos.

## Discusión

Como ya se ha dicho, según la normativa europea (CE 2002), los centros educativos deben cumplir con unos mínimos de intensidad lumínica, siendo 300 Lux en aquellas aulas de uso habitual y 500 Lux en los espacios utilizados como biblioteca. Para que esto sea posible las infraestructuras deben planificarse con una ubicación estratégica de las ventanas, así como también contar con los sistemas eléctricos necesarios para asegurar un entorno visual confortable que se adapte a las necesidades de los alumnos. En algunos estudios (Tapia y Zeas, 2012), se planteó la necesidad de aumentar estos mínimos ya que aseguraban ser insuficientes. Por lo que respecta a la UIB, parece que ha mejorado respecto a un estudio anterior y en este caso los edificios analizados si cumplen los requisitos estipulados.

Las aulas de edificio Jovellanos tienen una cabida de entre 30 a 120 personas según el aula, aun así, la distribución de las luminarias es uniforme y por tanto se colocaron los sensores en el centro del aula en todos los casos. Por lo que respecta al edificio de postgrado, Antoni M. Alcover, las aulas están divididas en a y b, de manera que si se juntan ambas mitades puede llegar a albergar 100-120 personas si se usan como medias, como es el caso en las aulas seleccionadas, la cabida es de 50-60 personas. Por tanto, sólo se necesitó colgar un sensor en cada aula para obtener los valores medios de intensidad de luz.

En general, se han obtenido resultados favorables en todos los espacios analizados. Las 9 aulas que se estudiaron, en todo momento superaban el valor dictado por la normativa (CE 2002; 300 Lux en aulas de uso habitual), con valores en todos los casos alrededor de 500 Lux, que casi duplica el mínimo exigido. Se comparan también las diferencias entre períodos lectivos y no lectivos, y en épocas distintas, primavera-verano y otoño-invierno. Para la primera, los sensores se colgaron entorno al equinoccio de primavera y para la segunda, entorno al solsticio de invierno, de esta manera se completaba las dos épocas que abarca el período lectivo de un curso académico. En general, se ha visto diferencias entre las épocas en las semanas no lectivas (Figura 15) aunque no a lo largo de los periodos lectivos de manera que esta diferencia seguramente esté relacionada con el uso de las aulas y la luz artificial.

También se analizó aparte (por valores mínimos de la normativa distinto) la intensidad de luz en la biblioteca del edificio Jovellanos (el edificio Antoni M. Alcover carece de ella). En este caso, la biblioteca consta de una entrada dónde se localiza la recepción, seguida de un altillo que conduce a una zona elevada con gran luminosidad gracias a las grandes ventanas que cubren la diferencia de altura. Pasada esta zona se extiende una zona predominante de la misma altura que la recepción donde están dispuestas las librerías y las mesas. A la hora de colocar los sensores se repartieron en 3 zonas; bajo el altillo y a lo largo del espacio principal. Los resultados, diferenciando las tres zonas, no dieron diferencias en los registros, por lo que se procedió a unificar en un registro único (Figura 10). Los resultados de intensidad de luz igualaron los exigidos por la normativa (500 Lux), sin presentar diferencias entre las épocas de invierno y primavera, así como tampoco entre semanas lectivas y no lectivas. Se puede concluir que la biblioteca, entre las luminarias y la luz natural, cumple con los mínimos exigidos.

Como se ha ido mencionando en los resultados, en muchas ocasiones en las horas nocturnas también se registraron intensidades de luz similares a las obtenidas a lo largo de las horas diurnas, en contra de lo que cabría esperar. En el periodo nocturno se supone que no hay luces encendidas y la única luz posible es aquella reflejada por la luna. Casualmente en ambas fechas, había luna llena (plenilunio), de manera que la luz reflejada por la luna era máxima, y esto podría explicar los resultados. Teniendo en cuenta además que el caso del edificio Jovellanos no hay cortinas ni estores que impidan esta entrada de luz y en el de Antoni M. Alcover, aunque si los hay, permiten el paso de la luz aunque atenuada. Habría que añadir, además la luz de las farolas situadas en la calle.

La evolución de UIB en cuanto a construcción de nuevos edificios ha ido paralela en relación a el crecimiento de la oferta académica. Los primeros que se construyeron fueron el Mateu Orfila, Ramón Llull y Guillem Colom y a día de hoy se han adicionado 7 edificios más con actividad docente, además de otras edificaciones no docentes, como campus sport, edificios administrativos y rectorado. De ellos, los más recientes son los analizados en el estudio.

Uno de los objetivos, que haría el estudio más completo, es la comparación de los resultados con edificios más antiguos, y comprobar si el diseño más novedoso influiría en la exposición a la luz. Contábamos con un estudio previo en los edificios Mateu Orfila y Guillem Colom en las mismas condiciones que este estudio, semanas lectivas vs no lectivas y comparando dos épocas que correspondían también al equinoccio de primavera y solsticio de invierno (García, S, 2017). Estas construcciones tienen un carácter más tosco y robusto. En el edificio Guillem Colom se carece de ventanas en los pasillos y en cuanto a las aulas se encuentran en la zona superior pero no orientadas hacia abajo, sino que se juega con las alturas para poner unas ventanas pequeñas rectangulares que no dirigen la luz hacia el lugar donde están situados los estudiantes. Además, están cubiertas por unas cortinas opacas que apenas pueden moverse y eliminan la posibilidad de recibir luz natural suficiente, de manera que la intensidad lumínica natural es prácticamente equivalente a las luminarias de baja intensidad, consistente en fluorescentes amarillos, aparentemente deficientes, que proporcionan así la mayor parte de la intensidad recibida en esas aulas. Los registros de la intensidad de luz dieron valores cercanos a 150 Lux en las aulas estudiadas, por tanto, valores muy bajos, aproximadamente la mitad del mínimo que deberían cumplir, según normativa. El edificio Mateu Orfila posee alguna ventana en los pasillos y las ventanas están orientadas en un lateral del aula, enviando la luz hacia las personas que ocupan el espacio. Las ventanas son de un tamaño medio y presentan persianas, las cuales se suben o se dejan bajada, en función de la actividad docente, por lo que la cantidad de luz natural que participa en la intensidad total del aula es difícil de cuantificar. Las luces, siguen siendo fluorescentes similares a los del otro edificio, aunque como las aulas son mayores hay una mayor cantidad, debido a los requerimientos de tamaño. Los resultados de los registros fueron dispares incluso dentro de la misma aula. El aula 3 sería la única que parece llegar al mínimo con lo que parecen diferencias notables entre periodos lectivos y no lectivos mientras que el aula 10 es el caso contrario siendo deficiente en ambos casos. Las aulas 11 y 4 parecen ser deficientes en el horario de invierno (menos horas de luz diurna) mejorando un poco acercándose al mínimo en el horario de verano (cuando hay más horas de luz). El aula 1 al ser la de mayores dimensiones y tener una conformación característica presenta diferencias incluso dentro del misma aula según la zona, siendo muy deficiente en invierno y mejorando en verano. Por tanto, la conclusión en este estudio es que por norma general no se alcanzaban los mínimos establecidos por la normativa europea para los centros educativos (García, S., 2017).

En los edificios analizados en este estudio el cambio es considerable. El edificio Jovellanos, está construido dividido en dos bloques en forma de U que se unen dejando un patio interior. Las clases están localizadas en diferentes alturas a diferencia de los anteriores que únicamente tenían una altura. Además, los pasillos presentan grandes ventanales en dirección sur y en las clases las ventanas están orientadas en dirección norte. En ambos casos no hay luz directa que pueda molestar a los alumnos y justificar el uso de cortinas para poder trabajar, sino que al estar en este plano consiguen recibir luz todo el día ya que el sol sale por el este y se pone por el oeste. De hecho, las aulas no presentan cortinas de manera que la entrada de luz natural no se ve impedida por ningún factor. Por otro lado, el edificio Antoni Maria Alcover Sureda presenta una conformación con menos extravagancias al ser toda una unidad. El pasillo presenta un lateral que estaría ocupado por ventanas que van casi del suelo al techo, interrumpido ocasionalmente por la colocación de los baños o alguna aula. Las aulas presentan una ventana al lado de la puerta de manera que la luz del pasillo, aunque poco intensa, puede contribuir a la intensidad total del aula. La zona trasera de las aulas siempre está ocupada por ventanas que van desde el suelo hasta el techo cubiertas con un estor no opaco que deja pasar la luz y están orientadas hacia el norte, de manera que se vuelve a aprovechar el eje por donde pasa el sol para recibir la mayor cantidad de luz sin ser molesta. No obstante, presenta una orientación diferente ya que las ventanas en este caso están en dirección oeste, pero al tener delante los cristales del pasillo la luz se podría reflejar haciendo que no se pierda la luz natural.

Una característica que aúna las aulas estudiadas es la facilidad con que se filtra la luz natural por las ventanas, sin obstáculos entre ellas y el aula (esto no ocurre en los edificios de construcción antigua, donde la mayor parte de sus aulas poseen estores o cortinas). Las luminarias de las aulas estudiadas, en ambos edificios, están compuestas por luminarias LEDs, con un rendimiento lumínico elevado, una mayor duración y un menor consumo energético. Tienen un espectro cromático donde predomina las longitudes de onda más cortas (zona del blanco azulado), las cuales presentan una mayor eficacia a la hora de sincronizar el sistema circadiano, favoreciendo la atención y vigilancia durante las clases.

Otro factor a analizar, son las diferencias entre semanas lectivas y no lectivas. Generalmente, la mayoría de los profesores utilizan, como apoyo docente, proyectores para las presentaciones en "power point". En el caso de los edificios Guillem Colom y Mateu Orfila, para evitar los reflejos y aumentar el contraste deben apagarse algunas luces o actuar sobre los estores y las cortinas. Esto provoca, durante todo el tiempo que dura la clase, una disminución considerable de la intensidad de luz (Figura 16). Si ello se repite en cada asignatura, el alumno puede pasarse unas cuantas horas (a veces hasta 5) casi a oscuras, lo que se traduce negativamente en la atención y rendimiento, y un incremento en el cansancio y la somnolencia (ver introducción). En el registro en los edificios nuevos, no se han observado fluctuaciones elevadas entra semanas lectivas y no lectivas, a pesar de que las luminarias deben estar apagadas en el período no lectivo, de manera que o se han mejorado los sistemas de proyección y no se apagan las luces o el espacio está acondicionado para recibir la luz necesaria sin verse afectada por apagar algunas luces para proyectar las diapositivas.

En resumen, las nuevas construcciones han mejorado la problemática que presentaban aquellos edificios más antiguos doblando, prácticamente, los resultados de intensidad de luz del estudio previo. El estar contruidos con líneas rectas depuradas jugando con las tonalidades claras y las ventanas, permite conseguir el máximo aprovechamiento de la luz natural (Kralij 2000). Todo esto en conjunción con las luminarias adecuadas se traducen en intensidades que cumplen con los mínimos, proporcionando la luz suficiente para el óptimo desarrollo de las actividades lectivas.

Habría que hacer una puntualización: las intensidades lumínicas determinados por la normativa existente no tiene en cuenta los beneficios de la luz sobre el ajuste de los ritmos circadianos, que debería dar valores notablemente más elevados, similares a los registrados en espacios abiertos que van desde los 2000 lux en días nublados hasta más de 100000 lux en días soleados de verano (Webb, 2006). Intensidades entre 1000 y 3000 lux son las recomendadas para asegurar un buen ajuste de los ritmos que repercuta en un buen rendimiento y en un mantenimiento de las capacidades cognitivas (Madrid, 2006). Haría falta, como ya se ha dicho por parte de los expertos en cronobiología, revisar al alza los valores estipulados por la normativa existente.

## Conclusiones

1. La luz es el sincronizador del sistema circadiano que tiene mayor influencia sobre este gracias a su relación con la producción de melatonina. Por tanto, dadas las conclusiones del estudio anterior este estudio tiene la importante tarea de determinar si hay mejoras que puedan traducirse en cambios en la conducta y rendimiento académico.
2. Desde Europa se han establecido unos valores mínimos asignados a cada área de trabajo según las funciones a desempeñar en cada espacio, entre ellos las bibliotecas y las aulas de los centros educativos se encuentran contemplados. Sin embargo, la mayoría de expertos en cronobiología parecen discrepar con el mínimo, sugiriendo que éste es insuficiente y por tanto deberían aumentarse los valores de la normativa.
3. Este trabajo, ha registrado los datos de intensidad de luz de diversas aulas en periodos y estaciones diferentes así como también en una biblioteca. En ambos casos se superan los valores mínimos, en ambos casos tanto en periodo lectivo como no lectivo.
4. Se han observado algunas diferencias entre los dos edificios nuevos a pesar de que ambas superan la normativa.
5. No se han encontrado diferencias en los edificios entre las clases impartidas en las épocas primavera- verano y otoño- invierno. Por tanto, en ambos casos la iluminación durante el desarrollo de las actividades docentes es favorable.
6. En comparación con los edificios anteriores se puede apreciar una diferencia notable entre los registros. Hay una mejor organización y planificación de la orientación en los nuevos edificios lo que ayuda a que ahora sí se cumplan con los mínimos a diferencia de los edificios más antiguos.

## Referencias

- Ángeles-Castellanos, M., Rodríguez, K., Salgado-Delgado, R., Escobar, C., & Castellanos, M. Á. (2007). Anatomía de un reloj (anatomía del sistema circadiano). *Arch Mex Anat Época*, 2(1), 15-20.
- BOE núm. 279 REAL DECRETO 1890/2008. Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.
- Escames, G., & Acuña-Castroviejo, d. (2009). Melatonina, análogos sintéticos y el ritmo sueño/vigilia. *Revista de Neurología*, 48(5), 245-254.
- Estivill Sancho, E. (2002). Duérmete niño: 12 años de experiencia. Revisión crítica. *Anales de pediatría*, 56(1), 35-39
- Galasiu, A. D.; Veitch, J. A.(2006). Occupant Preferences and Satisfaction With the Luminous Environment and Control Systems in Daylit Offices: a literature review. *Energy and Buildings*, v. 38, n. 7, p. 728-742,
- García Rodenas, S. (2017). *Análisis de la intensidad de luz incidente en las aulas de la UIB (Trabajo de Fin de Grado)*.
- Güler, A. D., Ecker, J. L., Lall, G. S., Haq, S., Altimus, C. M., Liao, H. W., ... & Hankins, M. W. (2008). Melanopsin cells are the principal conduits for rod. Cone input to non-image-forming vision. *Nature*, 453(7191), 102-105.
- Guerrero, J. M., Carrillo-Vico, A., & Lardone, P. J. (2007). La melatonina. *Investigación y ciencia*, 373, 30-38.
- Gronfier, C., Wright, K. P., Kronauer, R. E., & Czeisler, C. A. (2007). Entrainment of the human circadian pacemaker to longer-than-24-h days. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(21), 9081-9086.
- Karasek, M. (2004). Melatonin, human ageing, and age-related diseases. *Experimental gerontology*, 39(11), 1723-1729.
- Kralij, M. E., González Matterson, M. L., & Evans, J. M. (2000). Mediciones y Simulación de Iluminación Natural en Edificios con Patio de la Ciudad de Buenos Aires. *Trabajo enviado a Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Resistencia, Corrientes, Argentina*.
- Krysta, K., Krzystanek, M., Janas-Kozki, M. & Krupka-Matuszczyk, I. (2012). Bright light therapy in the treatment of childhood and adolescence depression, antepartum depression, and eating disorders. *Journal of neural transmission*, 119(10), 1167-1172.
- LeGates, T. A., Fernandez D. C., & Hattar, S. (2014). Light as a central modulator of circadian rhythms, sleep and affect. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(7), 443-454.
- Madrid, J. A., & de Lama, Á. R. (2006). *Cronobiología básica y clínica*. Editec@ red. Madrid. ISBN: 8493451037.
- Madrid, J.A., & Rol, M.A. (2015). Ritmos, Relojes y relojeros. Una introducción a la Cronobiología. *Eubacteria*, 33, 1-8.

Martínez, G. S. (2009). Regulación circadiana del comportamiento: diferencias entre especies diurnas y nocturnas. *Universitas Psychologica*, 8(2), 487-496.

Martínez-Nicolas, A., Ortiz-Tudela, E., Rol, M. Á., & Madrid, J. A. (2013). Influencia de la exposición a la luz sobre el sistema circadiano. *Vigilia y Sueño*, 25 (1), 24-38.

Mead M. N. (2008). Benefits of sunlight: a bright spot for human health. *Environmental health perspectives*, 116(4), A160-7.

Nie, L., Wei, G., Peng, S., Qu, Z., Yang, Y., Yang, Q., ... & Yang, X. (2017). Melatonin ameliorates anxiety and depression-like behaviors and modulates proteomic changes in triple transgenic mice of Alzheimer's disease. *Biofactors*, 43(4), 593-611.

Norma Europea sobre iluminación para Interiores (UNE 12464.1). Redactada y publicada por la Unión Europea, el Parlamento y el Consejo 2002/91/CE

Ortiz-Tudela, E., de los Ángeles Bonmatí-Carrión, M., De la Fuente, M., & Mediola, P. (2012). La cronodisrupción como causa de envejecimiento. *Revista Española de Geriatría y Gerontología*, 47(4), 168-173.

Portocarero, A. N., & Jiménez-Genchi, A. (2006). Efectos al 5to. Día de la entrada del horario de verano sobre las percepciones subjetivas de insomnio, somnolencia y el estado de ánimo en estudiantes de bachillerato. *Archivos de Neurociencias*, 11(4), 252-257.

Ramírez, C., Nevárez, C., & Valdéz, P. (1994). Efectos psicofisiológicos de la eliminación del horario de verano. *Salud mental*, 17(4), 25.

Roenneberg, T., Daan, S., & Merrow, M. (2003). The art of entrainment. *Journal of Biological Rhythms*, 18(3), 183-194

Rol de Lama, A., Baño Otálora, B., Martínez Nicolás, A., Bonmatí Carrión, A., Ortiz Tudela, e., & Madrid Perez, J. A (n.d). Efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana, el lado oscuro de la luz.

Skene, D.J., Lockley, S.W., Thapan, K. & Arendt, J. (1999). Effects of light on human circadian rhythms. *Reproduction, Nutrition, Development*, 39 , 295-304.

Tapia Zeas, C. E. (2012). *Diseño de iluminación natural en centros educativos infantiles* (Bachelor's thesis).

Webb, A. R. (2006). Considerations For Lighting in the Built Environment: non-visual effects of light. *Energy and Buildings*, v.38, n. 7, p. 721-727,

Wienold, J.; Christoffersen, J. (2006). Evaluation Methods and Development of a New Glare Prediction Model For Daylight Environments With the Use of CCD Cameras. *Energy and Buildings*, v. 38, n. 7, p. 743-757.