



**Universitat de les  
Illes Balears**

Facultat de Ciències

**Memòria del Treball de Fi de Grau**

# Efectos de la incidencia de la luz sobre el ritmo sueño-vigilia, la calidad del sueño y las repercusiones en el rendimiento académico, en una población escolar

Magdalena Adriana Jirku

**Grau de Biologia**

Any acadèmic 2018-19

Treball tutelat per María Cristina Nicolau Llobera

Departament de Biologia

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	X		X	

Paraules clau del treball:

Ritmo sueño-vigilia, cronotipo vespertino, retraso de fase, luz incidente, calidad del sueño, rendimiento académico



## AGRADECIMIENTOS

---

*Tras este año de trabajo y esfuerzo, quiero expresar mi gratitud a todas las personas que han ayudado a que pueda presentar mi Trabajo fin de Grado y así finalizar estos cuatro años intensos, pero, sobre todo, reconfortantes.*

*En primer lugar, quiero agradecer a mi tutora, Cristina Nicolau, quien me ha guiado en el desarrollo de este proyecto, y a quién siempre he podido expresar mis dudas, pensamientos e ideas con toda confianza. En segundo lugar, quiero agradecer a los alumnos y a todo el equipo docente del Aula Balear, en especial a su director, Joan Ginard, por sus rápidas respuestas a cualquier problema y su implicación en el trabajo.*

*Quiero dedicar este trabajo a mi madre y a mi padre, porque sin su apoyo y amor no habría llegado hasta aquí.*

*Gracias por todo.*

## RESUMEN

---

El ciclo de luz-oscuridad ambiental es esencial para la fisiología y el comportamiento humano, ya que la luz es el “zeitgeber” principal que regula nuestro reloj endógeno. La intensidad de la luz que recibimos tiene un importante impacto en el ritmo sueño-vigilia, ya que interviene en la secreción hormonal, calidad del sueño, función cognitiva y la capacidad de alerta. Especialmente en el ámbito escolar la intensidad de la luz es un factor que no ha de ser subestimado, dadas sus implicaciones fisiológicas que repercuten en el rendimiento académico. Así, se ha planteado este estudio para evaluar dicho efecto en el ritmo sueño-vigilia, la calidad del sueño y el rendimiento académico de una población escolar. Adicionalmente, se ha evaluado la diferencia entre el potencial lumínico de las aulas consideradas y la intensidad de luz que finalmente reciben los alumnos. Para este estudio se han seleccionado alumnos adolescentes, ya que estos muestran un retraso de fase del ritmo sueño-vigilia natural, y tanto las disposiciones de las aulas de estudio como los horarios de clase no van acorde a su fisiología. Se concluye que, en la adolescencia, se puede establecer una relación directa entre la intensidad lumínica y la calidad del sueño y el rendimiento académico, a pesar del retraso de fase fisiológico en el ritmo sueño-vigilia. Finalmente, se ha observado también que hay una gran diferencia entre el potencial lumínico de las aulas del estudio y la intensidad de luz que finalmente incide sobre los alumnos que están en ellas. Por lo tanto, hay una parte de la luz que no se aprovecha, y que podría tener un impacto beneficioso importante en la fisiología de los alumnos

## ÍNDICE

---

I.	INTRODUCCIÓN	6
	Los ritmos circadianos	6
	Los efectos de la luz en los ritmos circadianos	7
	Ritmos circadianos en adolescentes	8
II.	OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
III.	MATERIAL Y MÉTODOS	11
	Institución y participantes	11
	Pruebas realizadas	12
	i. Análisis de la luz incidente y de las variables circadianas	12
	ii. Análisis de la calidad del sueño	13
	iii. Análisis del rendimiento académico	14
	iv. Análisis de la intensidad de luz en las aulas	14
	v. Análisis de datos	14
IV.	RESULTADOS	15
	Pruebas realizadas	15
	i. Análisis de la luz incidente y de las variables circadianas	15
	ii. Análisis de la calidad del sueño	19
	iii. Análisis del rendimiento académico	21
	iv. Análisis de la intensidad de luz en las aulas	22
V.	DISCUSIÓN	25
VI.	CONCLUSIONES	26
VII.	BIBLIOGRAFÍA	26

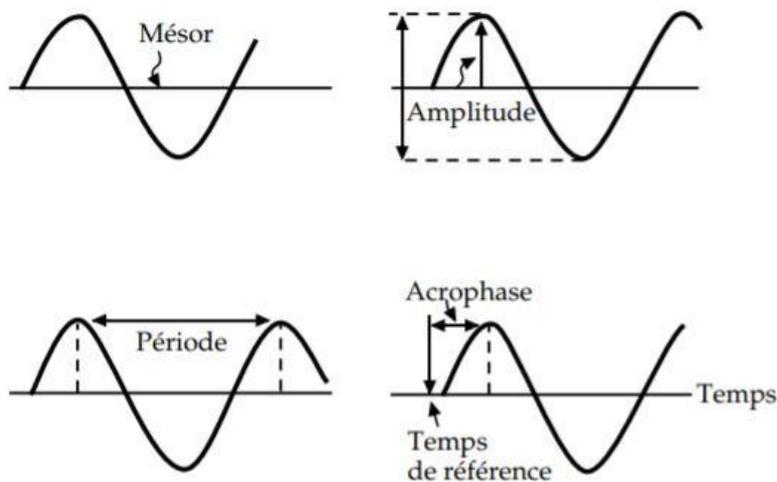
# INTRODUCCIÓN

## LOS RITMOS CIRCADIANOS

La vida se encuentra en movimiento constante y está sometida a las diversas fluctuaciones rítmicas de la naturaleza. Los ciclos estacionales, lunares y ciclos diarios de luz-oscuridad son claros ejemplos de la periodicidad biológica (Ángeles-Castellanos et al., 2007). Todos los seres vivos, tanto animales como vegetales, presentan funciones vitales oscilatorias, ajustadas en respuesta a los cambios lumínicos y estacionales de la tierra. Nos referimos a los ritmos biológicos, que se definen como variaciones regulares de una función orgánica relacionada con el curso del tiempo (Torres et al., 2013).

Los ritmos biológicos se pueden caracterizar por una serie de variables (Figura1) (Challamel et al., 2001):

- **Periodo:** representa la duración de un ciclo completo de la variación rítmica estudiada. En función de su periodo, los ritmos pueden ser circadianos (de aproximadamente 24 horas, es decir, un día, con un margen de  $\pm 4$  horas). Si la duración es superior hablaremos de un ritmo infradiano y si es inferior será un ritmo ultradiano.
- **Frecuencia:** el valor inverso del periodo, es el número de ciclos por unidad de tiempo. Si la unidad de tiempo usada es un día, un ritmo ultradiano presentará una frecuencia superior y un ritmo infradiano presentará una frecuencia inferior.
- **Mesor:** es el valor promedio del ritmo ajustado cuando los datos son equidistantes y cubren un ciclo completo.
- **Amplitud:** corresponde a la mitad de la variabilidad total del ritmo.
- **Acrofase:** corresponde a la localización, en la función, del valor máximo del ritmo.



**Figura 1.** Representación gráfica de las variables que definen un ritmo biológico expresadas en una función rítmica (Challamel et al., 2001). Arriba: mesor (izquierda) y amplitud (derecha); abajo: periodo (izquierda) y acrofase (derecha).

Especialmente el ciclo de luz-oscuridad es fundamental para el comportamiento y la fisiología de animales y humanos, ya que programa las fases de actividad y reposo. Incluso en ausencia de un ritmo ambiental de luz-oscuridad, el ritmo de actividad y reposo de animales y humanos permanece con una periodicidad de aproximadamente 24 horas (Dijk et al., 2009). Este fenómeno es fruto del ritmo o sistema circadiano, que permite a los animales y humanos adaptarse a las variaciones de luz y oscuridad que ocurren cada 24 horas.

El sistema circadiano está formado por una serie de estructuras que funcionan conjuntamente. Su componente principal es el reloj biológico central o “maestro”, que en los mamíferos se sitúa en los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo (NSQ). Además del reloj maestro, existen también relojes periféricos en las células de diversos tejidos. En conjunto estos relojes generan un orden temporal en las actividades del organismo. El segundo componente son las vías de sincronización, que transmiten las señales externas (señales de entrada) al reloj biológico. Principalmente se trata de la información lumínica captada por la retina, que establece la relación entre el NSQ y el exterior. El tercer componente son las vías eferentes, que transmiten las señales de salida (hormonas o neurotransmisores) a los sistemas biológicos efectores, encargados de mantener funciones vitales de los organismos (Ángeles-Castellanos et al., 2007). Aunque los relojes son capaces de generar ritmos en aislamiento, el valor adaptativo de su funcionamiento reside en su capacidad de sincronizarse con los ciclos ambientales, mediante las señales externas o “zeitgebers”. El “zeitgeber” ambiental más estable en período y fase, y por ende más predecible es el ciclo diario de Luz-Oscuridad (Toh, 2008).

## LOS EFECTOS DE LA LUZ EN LOS RITMOS CIRCADIANOS

La luz ha jugado un papel fundamental en la evolución de las especies, ya que es gracias a ella que somos capaces de ver el entorno y reaccionar ante lo que vemos. Pero, la luz también es esencial para la regulación de funciones comportamentales y fisiológicas, que son independientes de la formación de imágenes. Entre ellas se encuentra la sincronización del reloj biológico a la luz solar y el ajuste de los periodos de sueño y vigilia (LeGates, et al. 2014).

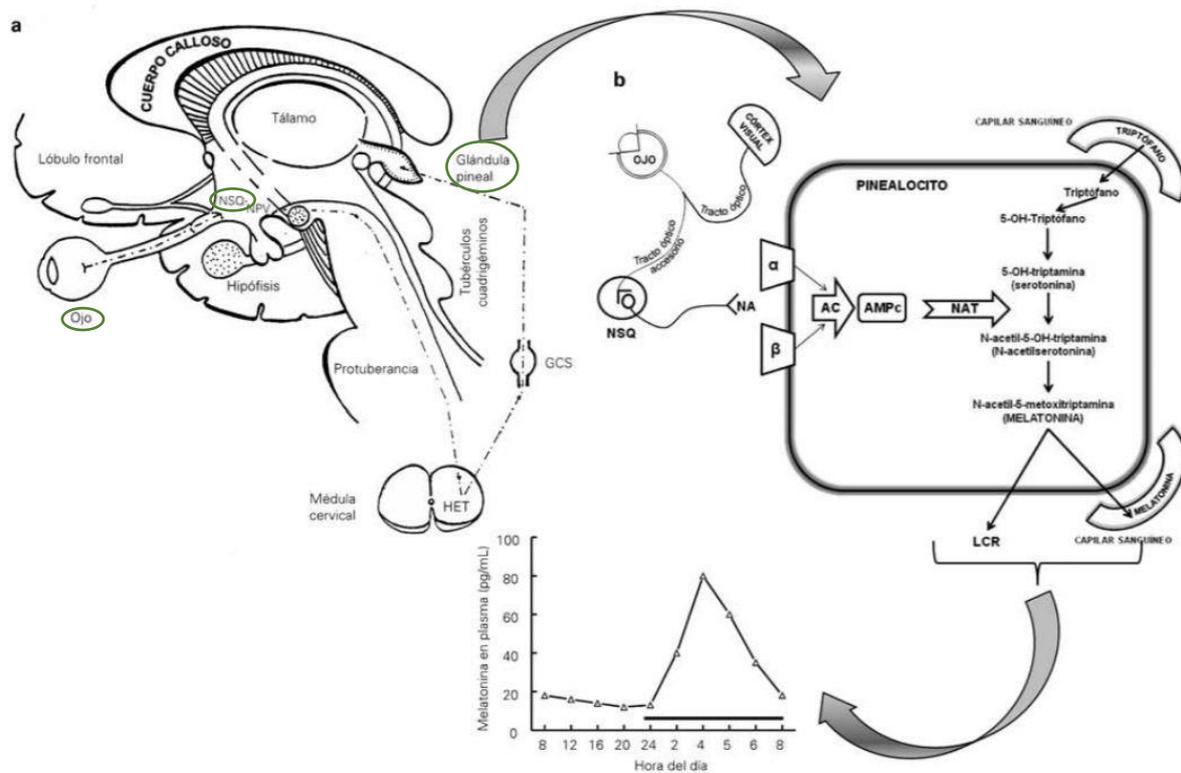
Las "células ganglionares intrínsecamente fotosensibles" (ipRGC) de la retina, un subconjunto de células ganglionares, independientes de las que comunican información visual, son las que captan la presencia o ausencia de luz y, a través de los nervios retinohipotalámicos transmiten la información al NSQ. Una estructura de vital importancia es la glándula pineal, situada en el epitalamo, entre ambos tubérculos cuadrigéminos superiores. La glándula pineal es la responsable de secretar la melatonina, principalmente en las horas de noche; los picos de secreción de melatonina ocurren entre las 00:00 y las 03:00 h. La variación lumínica y oscuridad en la síntesis de melatonina es el hecho esencial que explica la participación de la glándula pineal en los ritmos biológicos (Torres et al., 2013).

La síntesis de la hormona melatonina (Figura 2) está controlada por el NSQ, quien, como se ha mencionado, está sincronizado con el ciclo luz-oscuridad a través del tracto retinohipotalámico. Durante la noche, el NSQ envía señales neuronales que se proyectan sobre la glándula pineal e inducen la liberación de noradrenalina. La unión de noradrenalina a sus receptores específicos en las membranas de los pinealocitos (las células de la glándula pineal que segregan la melatonina) promueve la activación de síntesis de la melatonina (Guerrero et al., 2007). La melatonina se sintetiza a partir del triptófano del torrente sanguíneo. Este es hidroxilado y descarboxilado a serotonina; después la N-acetilación y O-metilación convierte la serotonina a melatonina (Torres et al., 2013).

Una vez se ha formado la melatonina, ésta es liberada al torrente sanguíneo, donde puede acceder a los tejidos y órganos en los que ejercerá sus funciones. La melatonina es una hormona con importantes propiedades cronobióticas, con la capacidad de resincronizar el ritmo circadiano. La síntesis rítmica de melatonina es la manera de la que el reloj endógeno extiende su sincronización con el medio ambiente al resto del organismo; pero, recíprocamente, la melatonina también actúa sobre el NSQ favoreciendo su resincronización (Guerrero et al. 2007).

La capacidad de la melatonina para readaptar el reloj biológico ha sido demostrada en múltiples estudios, inicialmente con sujetos ciegos, cuyos ritmos circadianos presentan generalmente una

duración de 25 horas, ya que no son capaces de adaptar su ritmo a los fotoperiodos externos. Tras la administración de melatonina cada 24 horas, se estableció un ritmo sueño-vigilia de 24 horas. La administración de melatonina en distintos momentos del día tiene, por lo tanto, la capacidad de adelantar o atrasar el ritmo circadiano (Escames et al., 2009).



**Figura 2.** Esquema de la producción de la melatonina, desde la captación de luz por los ojos hasta la secreción de la hormona en el torrente sanguíneo. En círculos verde aparecen las estructuras más importantes mencionadas en el texto: los ojos, el NSQ y la glándula pineal (Escames et al., 2009).

En el periodo de vigilia, cuando ya se ha iniciado el incremento de la síntesis de melatonina, se produce un aumento de somnolencia, que coincide con el descenso de la producción de calor y el incremento de su pérdida (Escames et al., 2009). Estudios recientes apuntan a que los cambios en la temperatura periférica (TP) anteceden a los de la temperatura central, por lo que podría ser la pérdida de calor periférica la que guíase el ritmo circadiano de la temperatura corporal central. Además, la somnolencia parece estar directamente relacionada con la TP y no con la temperatura central (Kräuchi et al., 2000).

## RITMOS CIRCADIANOS EN ADOLESCENTES

En las sociedades actuales es frecuente observar el fenómeno del “adolescente somnoliento”, despierto hasta altas horas de la noche y con dificultades para despertarse a la mañana siguiente. La opinión general a menudo atribuye este comportamiento a los entornos sociales o las varias distracciones de las nuevas tecnologías, pero la realidad es otra. Con la entrada en la pubertad, los adolescentes pasan por una transición en su ritmo sueño-vigilia, empiezan a presentar un cronotipo más vespertino, con un retraso de fase (Hagenauer et al., 2012). El síndrome de retraso de fase se caracteriza por la dificultad de iniciar el sueño a horas tempranas de la noche, lo que lleva a que el individuo permanece despierto hasta tarde y, en consecuencia, se despertará dos o más horas después

de lo normal. La falta de exposición a la luz por la mañana y el exceso de luz durante las últimas horas del día acentúan el síndrome (Escames et al., 2009). Es el caso de aulas docentes insuficientemente iluminadas y un uso prolongado de dispositivos electrónicos, como móviles o consolas de juego, durante la noche.

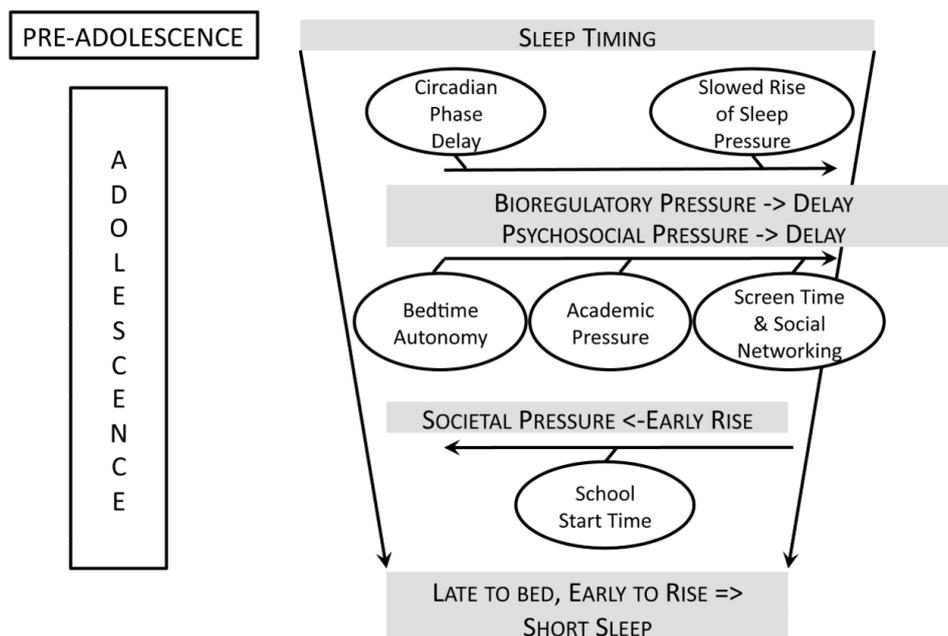
Los patrones de sueño durante la adolescencia han sido ampliamente analizados por un gran número de estudios que confirman el retraso de fase y la preferencia para acostarse más tarde (Taylor et al., 2005; Jenni et al., 2005). Parece haber una tendencia a acumular el sueño durante los días de la semana, que luego se recupera los fines de semana, que es cuando los adolescentes pueden llegar a dormir hasta dos horas más que entre semana (Wolfson et al., 1998). En un estudio en el que se evaluaron las preferencias a la hora de acostarse por adolescentes, se llegó a la conclusión que aquellos sujetos que preferían un horario más vespertino también eran aquellos que se consideraban más maduros (Carskadon et al., 1993). En un estudio realizado en 2009 (Hagenauer et al., 2009) se vio que también existe un atraso de fase en otras especies de mamíferos, por lo que no es un fenómeno exclusivo de la especie humana que obedece a conductas sociales, sino más bien un síndrome intrínseco del sistema circadiano (Carskadon et al., 2011).

Desafortunadamente, al atraso de fase circadiana se unen factores tanto psicológicos como ambientales que ponen en compromiso la calidad del sueño de los adolescentes. Con la entrada en la pubertad, la adquisición de independencia frente a los padres se vuelve cada vez más importante para los adolescentes; la decisión de la hora a la que se van a dormir se considera un paso importante hacia la independencia y madurez de dichos niños. Varios estudios sobre hábitos del sueño de los adolescentes (Gangwisch et al., 2010; Short et al., 2011) confirman que los sujetos que pueden decidir la hora a la que se acuestan, también lo harán a horas posteriores que las que habrían sido impuestas por sus padres. A su vez, en los casos en los que los padres determinaban la hora de acostarse, los sujetos presentaban un sueño más extendido, cosa que contribuye a reducir la probabilidad de sufrir depresión, fatiga y somnolencia (Carskadon et al., 2011).

El mayor uso de redes sociales y dispositivos electrónicos, sobre todo a altas horas de la noche también tiene un rol importante en cuanto a la hora de acostarse de los adolescentes, sin olvidarse del impacto negativo que tiene la luz sobre el sistema circadiano de los sujetos, como se ha mencionado anteriormente.

Hasta aquí hemos visto que, durante la adolescencia, hay una fuerte tendencia a acostarse tarde y que esta tendencia tiene orígenes tanto fisiológicos como psicológicos o comportamentales. Inconvenientemente, justo cuando los jóvenes se encuentran con estas dificultades, los horarios de los colegios se adelantan, acortando aún más el tiempo de sueño de los adolescentes. Así, estos se encuentran en una controversia, su sistema circadiano les empuja a dormir más tarde mientras que el colegio les exige levantarse más temprano. En el 2011, el equipo de Carskadon estableció el modelo "The Perfect Storm", que reúne los factores negativos que confluyen durante la adolescencia, reduciendo la calidad del sueño de los adolescentes (Figura 3). Hay una larga lista de consecuencias negativas a un sueño insuficiente en la edad escolar: desde somnolencia y falta de concentración, hasta un bajo rendimiento académico, cambios de humor y falta de motivación (Carskadon et al., 2011).

## Adolescent Development & Sleep: The Perfect Storm



**Figura 3.** Ilustración del tiempo de sueño de alumnos de instituto, desde la preadolescencia hasta la adolescencia. Se aprecia el atraso de fase en contraposición al horario escolar adelantado (Carskadon et al., 2011).

Como anteriormente se ha mencionado, la luz a la que son expuestos los alumnos durante el horario lectivo puede agravar los efectos del retraso de fase en la adolescencia, y por lo tanto empeorar la calidad del sueño, lo que puede llevar a numerosos efectos negativos, como disminuir el rendimiento académico. Hay claras evidencias científicas que afirman que la luz en las aulas del colegio tiene efectos sobre la concentración y el aprendizaje de los alumnos que se encuentran expuestos a ella. Varios estudios documentan que diferentes intensidades de luz y la naturaleza de ésta (si es fluorescente o luz natural) pueden tener diferentes efectos sobre la concentración, el aprendizaje, la hiperactividad o la relajación de los alumnos (Winterbottom et al., 2009). En un experimento realizado en 2011 por el equipo de Barkmann, se colocaron focos de luz variable, es decir luz que cambia su intensidad y saturación durante el día, en aulas de colegios. Los resultados concluyeron que los estudiantes presentaban una concentración y velocidad lectora incrementada. Es importante no subestimar el profundo impacto que tiene la luz en la fisiología humana, dado que tiene efectos en la secreción hormonal, la función cognitiva, la calidad del sueño y la capacidad de alerta (LeGates et al., 2014). De cara al futuro se convierte en fundamental incluir la luz como un factor modulador del rendimiento académico en escuelas, ya que tiene un efecto directo sobre el sistema circadiano de los alumnos.

## OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con estos antecedentes se propuso analizar el ritmo sueño-vigilia, la calidad del sueño y el rendimiento académico de una muestra de alumnos adolescentes en relación a la intensidad de luz expuesta.

Cabe esperar que aquellos alumnos que cuentan con una mejor exposición a la luz en sus aulas lectivas también presentarán un ritmo sueño-vigilia más ajustado, mejor calidad del sueño y una mejora en su rendimiento académico.

Los objetivos específicos serán:

1. En función de la intensidad de luz incidente establecer grupos de luz entre la muestra participante.
2. Analizar el ritmo sueño-vigilia de una submuestra representativa de sujetos de cada grupo.
3. Analizar la calidad del sueño de una submuestra representativa de sujetos de cada grupo.
4. Analizar las repercusiones en el rendimiento académico de los sujetos de cada grupo.
5. Analizar la intensidad de la luz que incide en las aulas del estudio, para conocer el potencial lumínico que presentan y establecer una relación con la luz real que reciben los sujetos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

---

### INSTITUCIÓN Y PARTICIPANTES

Este estudio ha sido realizado en el centro educativo concertado Aula Balear, un colegio que imparte la enseñanza a todos los niveles escolares. Se sitúa en la Calle Can Valero 19, en el polígono Can Valero de Palma de Mallorca.

El estudio se ha realizado con una muestra total de 99 alumnos, distribuidos en submuestras y de ambos sexos pertenecientes a los cursos 3º de E.S.O., 4º de E.S.O. y 1º de Bachiller, con edades entre los 14 y los 18 años. Se compararán un total de 5 aulas: 3º de E.S.O. A, 3º de E.S.O. B, 4º de E.S.O. A, 1º de Bachiller Social y 1º de Bachiller Ciencias. Se han establecido los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

*Inclusión:*

- *Sujetos pertenecientes a los cursos seleccionados.*
- *Sujetos que acuden regularmente al colegio.*

*Exclusión:*

- *Sujetos que estén tratados con medicación que afecte al ritmo sueño-vigilia.*
- *Sujetos que sufran trastornos de déficit de atención e hiperactividad.*

De la muestra total, se han seleccionado submuestras representativas de 5 alumnos voluntarios pertenecientes a cada una de las 5 aulas consideradas para el estudio. El objetivo era analizar sus variables circadianas mediante sensores, para así proporcionar una visión más completa del ritmo sueño-vigilia en relación con la intensidad de la luz incidente.

En la Tabla 1 se muestra el número total de alumnos por aula (muestra total), como el número y el código asignado a aquellos alumnos que portarán sensores (submuestras). Los números de sujetos que aparecen son los números de alumnos reales que se declararon voluntarios para participar en el estudio.

**Tabla 1.** Clasificación de las 5 aulas y sus alumnos, consideradas para el estudio durante el curso 2018/2019. Se presenta el número de alumnos por aula, seguido del número de voluntarios por aula. Al final se presenta el código asociado a cada uno de estos alumnos voluntarios para mantener su anonimato y poder identificarlos posteriormente.

Aulas	Número de alumnos	Número de voluntarios	Códigos voluntarios
3º ESO A	20	1	7AF
3º ESO B	20	5	1AA, 5EC, 18TP, 17SO, 19LP
4º ESO A	20	3	10E, 16J, 20S
1º Bachiller Ciencias	16	3	8G, 10L, 16T
1º Bachiller Social	23	3	7M, 12N, 23Z

Tanto los alumnos participantes, como sus padres/tutores fueron previamente informados sobre el objetivo y la metodología que se iba a seguir en el estudio. El proyecto fue presentado a los alumnos y se entregaron folletos informativos a sus padres que, además, fueron invitados a una reunión para aclarar posibles dudas. Los sujetos participantes y sus padres/tutores firmaron un consentimiento informado, adaptado por el Comité de Ética de la Investigación de les Illes Balears (CEI-IB), que garantizaba el total anonimato y el carácter voluntario del estudio, pudiendo abandonarlo en cualquier momento. Todos los datos recogidos (cuestionarios, valoraciones, etc.) fueron tratados de acuerdo con la Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal (BOE nº 298, de 14 de diciembre de 1999). El estudio contó con la aprobación por el Comité de Ética de la Investigación de la UIB (86CER18).

La duración total del estudio abarcó desde septiembre 2018 hasta abril 2019, durante el curso escolar 2018/2019.

## PRUEBAS REALIZADAS

A continuación, se presenta la metodología aplicada en cada una de las pruebas realizadas para cumplir con los objetivos específicos del estudio.

### 1. Análisis de la luz incidente y de las variables circadianas

Se puso especial interés en la medición de la intensidad de luz incidente sobre los alumnos en horario lectivo. A partir de dichas intensidades de luz se establecieron lo “grupos de luz”, que fueron utilizados para resultados comparativos. Un grupo de luz será una agrupación de aulas (y alumnos pertenecientes a ellas) con una intensidad de luz y unas características semejantes.

Para ello se utilizó un sensor de luz (Hobo Light Data Loggers UA-002-64, Onset Computer, Bourne, Massachusetts, EE. UU), que registraba la intensidad de luz incidente y que los sujetos llevaron a modo de colgante, por encima de la ropa (Figura 4). Este sensor registra y almacena los datos de luz cada 15 minutos, y los sujetos llevaron el sensor durante 5 días consecutivos lectivos, quitándoselos solo en los periodos de aseo y durante el sueño, cuando lo debían colocar sobre la mesilla de noche. De acuerdo con las especificaciones del fabricante, los registradores de datos tienen un rango de medición comprendido entre 0 y 320.000 lx, (Martínez-Nicolas et al., 2011).

Como ya se ha mencionado, otro de los objetivos fue analizar los ritmos circadianos de las submuestras de sujetos seleccionadas. Como el núcleo supraquiasmático se sitúa en el hipotálamo, la única manera de evaluar su actividad es observando las variaciones circadianas de determinados marcadores, que constituyen las señales de salida del reloj circadiano. Dado que el control aislado de estos marcadores puede inducir a errores, se procedió a combinar la información proporcionada por 2 marcadores o variables (TP y actividad), creando así una imagen más completa e integrada del ritmo sueño-vigilia de cada sujeto (Ortiz-Tudela et al., 2010; Martínez-Nicolás et al., 2011).

Para medir las variables mencionadas se utilizaron 2 sensores diferentes (Figura 4), que se llevaron simultáneamente con el sensor de luz, y que registraron la TP y la actividad motora:

#### *Registro de la TP*

Para ello se utilizó el sensor iButton (Thermochron iButton, Maxim) colocado como pulsera en la muñeca de los sujetos, sobre la arteria radial, y correspondiente al brazo no dominante. El sensor registra datos cada 10 minutos y los almacena. Las fluctuaciones de la TP son el resultado del balance entre vasodilatación (parasimpático) y vasoconstricción (simpático) en las venas periféricas, mediadas por el sistema nervioso central. La TP se incrementa en periodos de sueño y disminuye durante periodos de actividad (Ortiz-Tudela et al., 2010). Esto supone un valor casi inverso de la temperatura corporal central, difícilmente medible sin emplear métodos invasivos, por esto, en el marco de este estudio, se recurrió a medir la TP como indicador del ritmo sueño-vigilia.

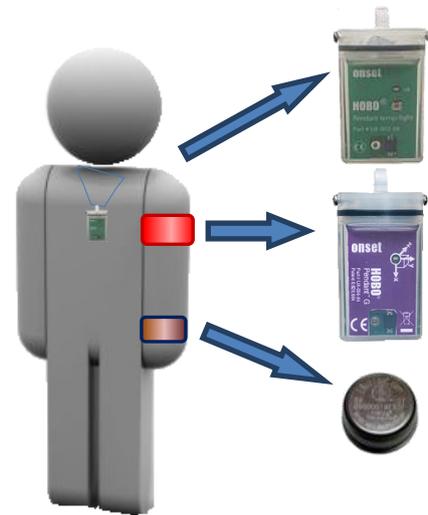
#### *Registro de la actividad motora*

Para el registro de la actividad motora se utilizó el actímetro de brazo (Hobo G Acceleration Data Logger), en forma de brazalete en el brazo no dominante. Este sensor, como el de TP registra y almacena datos cada 10 minutos. Ha quedado demostrado que este parámetro es un buen marcador para el estudio del ritmo circadiano sueño-vigilia (Ortiz-Tudela et al., 2010).

Los sensores utilizados representan un método no invasivo y no perjudicial para los sujetos de estudio, a la vez que representa una metodología eficaz para analizar el ritmo sueño-vigilia sin tener que recurrir a técnicas invasivas de análisis de sueño, como la polisomnografía. Cada alumno llevó los tres sensores simultáneamente durante 5 días lectivos consecutivos.

## 2. Análisis de la calidad del sueño

Para evaluar la calidad del sueño de los sujetos participantes se utilizó el Software Actiwatch Sleep 2001 (Actiwatch 2001, V1.16 Cambridge Neurotechnology), con el que se analizaron los datos de actividad motora nocturna. Este Software analiza el registro de actividad motora nocturna (de tal manera que opera con periodo estimado de sueño correspondiente a nula actividad motora) y extrae los siguientes parámetros en relación al sueño:



**Figura 4.** Modelo de los tres sensores que portaron los sujetos de estudio. Se aprecia el sensor de luz incidente, el brazalete con el sensor actímetro y el sensor de TP en la muñeca (de arriba hacia abajo).

- **Latencia de sueño:** tiempo transcurrido antes del inicio del tiempo asumido como sueño (min).
- **Eficiencia de sueño:** porcentaje de tiempo asumido como sueño mientras el sujeto está en la cama (%).
- **Tiempos de inmovilidad y movilidad:** tiempo en que los sujetos presentan movilidad nula y movilidad respectivamente (min).
- **Episodios de vigilia:** número de episodios de vigilia en el periodo asumido como sueño.
- **Relación tiempo de movilidad/tiempo de inmovilidad:** porcentaje de tiempo con o sin movilidad en el período asumido como sueño (%).

De esta manera se pretende establecer una relación entre cada grupo de luz y la calidad del sueño de los sujetos que se encuentran en las aulas pertenecientes a estos grupos.

### 3. Análisis del rendimiento académico

Para evaluar el rendimiento académico de los sujetos se analizaron las notas del primer y segundo trimestre del año académico 2018/2019, el que cursaban en el momento del estudio. El objetivo es relacionar los resultados académicos de los sujetos, nuevamente según cada grupo de luz.

Las calificaciones fueron proporcionadas por el Aula Balear y fueron tratadas con el anonimato establecido en la Ley Orgánica 15/1999 de protección de datos de carácter personal. El parámetro seleccionado para la valoración del rendimiento escolar ha sido el promedio de las notas obtenidas de todos los sujetos de estudio de una misma aula. Las notas de asignaturas únicamente realizadas por algunos alumnos, como es el caso de las optativas, han sido descartadas para conseguir una mayor homogeneidad dentro de cada aula. A la hora de interpretar los resultados será importante tener en cuenta que se trata de cursos con niveles de dificultad variables.

### 4. Análisis de la intensidad de luz en las aulas

En base a resultados anteriores pertenecientes a Trabajos de Fin de Grado ya defendidos (García, 2017; Vidal, 2019), se consideró importante analizar la intensidad de luz de las aulas, es decir su potencial de luminosidad, sin tener en cuenta los factores que puedan variar la intensidad de luz que finalmente llega a incidir sobre los sujetos.

Para ello, se realizaron mediciones de luz en un periodo no docente, durante 5 días consecutivos.

Se utilizaron los mismos sensores HOB0 que llevaron los sujetos como colgante (ver apartado 1 de Material y Métodos). Se colocó un sensor en cada aula, a aproximadamente 190 cm de distancia al suelo; excepto en 3º de E.S.O. B, donde se colocaron 2 sensores debido al mayor tamaño del aula.

#### Análisis de datos

Una vez obtenidos los datos de los sensores de TP y de actividad motora, estos fueron procesados por el programa "Circadianware" v7.1.1. (Campos et al., 2010), que calculaba los valores promedio a lo largo de las 24 horas del día de dichas variables. A continuación, se procedió a integrar los datos de TP y actividad con los datos de la exposición a la luz incidente, para obtener una visión conjunta de la variación de los niveles de estas tres variables durante el ritmo sueño-vigilia de los sujetos. Además, del mismo programa se obtuvieron los

parámetros circadianos necesarios para complementar la información proporcionada por los sensores.

La TP y la actividad motora se analizaron mediante pruebas paramétricas (pruebas de cosinor y Rayleigh). El ajuste de cosinor ajusta los datos a la mejor línea de regresión sinusoidal de 24h y proporciona el mesor, la acrofase y la amplitud del ritmo. El **mesor** es el valor medio alrededor del cual oscila la variable. La **acrofase** es la hora del día en que ocurre el punto más alto de la curva de coseno ajustado. La **amplitud** es la diferencia entre el mesor y la acrofase (Díez-Noguera, 2006; Haffen, 2009). La prueba de **Rayleigh** se deriva del análisis cosinor y permite calcular la estabilidad de fase del ritmo durante días sucesivos.

Estos parámetros suponen que el ritmo es sinusoidal. Sin embargo, en muchos ritmos circadianos, por ejemplo, en los seres humanos, la temperatura de la muñeca no es sinusoidal. En consecuencia, también hay que realizar análisis no paramétricos. Esto permite el cálculo de variables adicionales definidas de la siguiente manera (Carvalho-Bos et al., 2007):

- **IE** (Índice Estabilidad Interdiaria): cuantifica la regularidad o la consistencia del patrón rítmico y varía entre 0 y 1 (para una estabilidad perfecta).
- **IV** (Índice Variabilidad Intradía): cuantifica la fragmentación del ritmo y varía entre 0 cuando la onda es sinusoidal y 2 para la curva gaussiana.
- **AR** (Amplitud Relativa): se calcula como la diferencia de 5 horas consecutivas de valores máximos y 10 horas consecutivas de valores mínimos dividida por la suma de las dos.
- **CFI** (Índice de Función Circadiana): calculado a partir del promedio de las tres variables, IE, IV y AR y oscila entre 0 (ausencia de ritmicidad circadiana) y 1 (un ritmo circadiano robusto) (Ortiz-Tudela et al., 2010).

En cuanto a los análisis estadísticos, para todos ellos se utilizaron los test pertinentes según la naturaleza de los datos, utilizándose la prueba T de Student para la comparación de las medias relacionadas y el análisis de varianza (ANOVA de un factor) de modelo general lineal para medidas repetidas, seguido del test de *Bonferroni post-hoc*, si fuese necesario. En todos los análisis se utilizaron los paquetes estadístico SPSS 16.0 (SPSS, Chicago, Illinois) y RStudio Desktop 1.2.1335.

---

## RESULTADOS

### PRUEBAS REALIZADAS

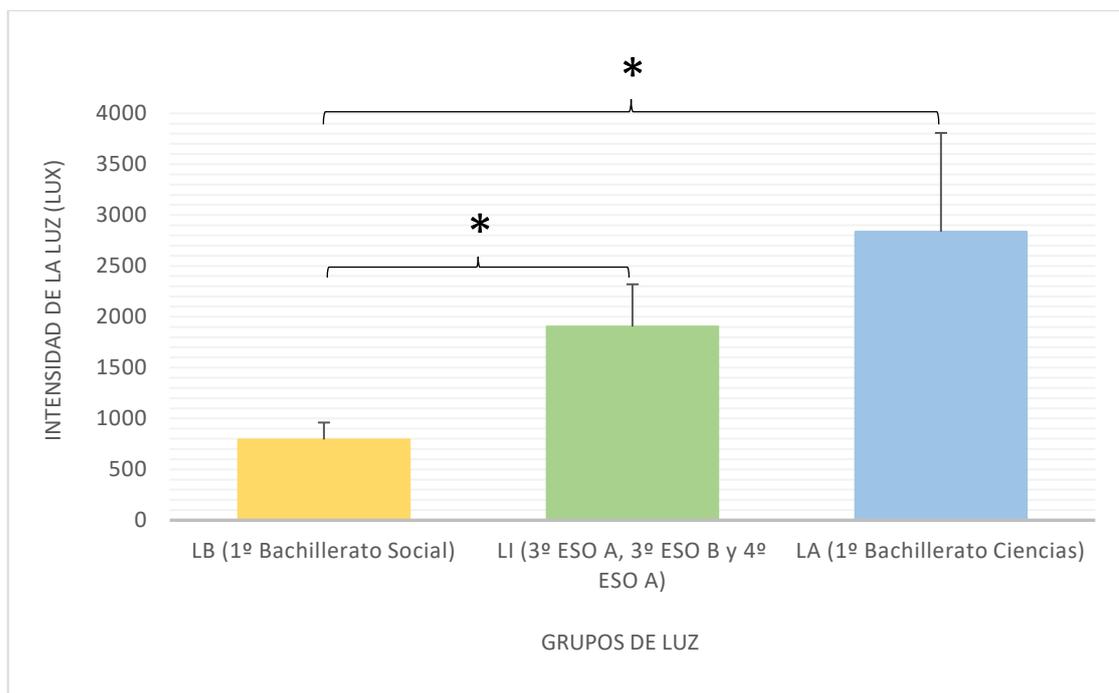
Según la metodología aplicada y los objetivos formulados, se presentan los resultados obtenidos de cada una de las pruebas realizadas.

#### 1. Análisis de la luz incidente y de las variables circadianas

A partir de las intensidades de luz que reciben los sujetos en sus aulas y durante el horario lectivo (en lux, unidad de iluminación) se establecieron los grupos de luz. Como anteriormente ya se ha mencionado, en el contexto de este estudio, un grupo de luz será un conjunto de aulas que han sido agrupadas por la intensidad de luz similar que reciben, y son los siguientes (Figura 5):

- **Luz Alta (LA):** 1º de Bachillerato Científico.
- **Luz Intermedia (LI):** 4º de E.S.O. A, 3º de E.S.O. A y 3º de E.S.O. B.
- **Luz Baja (LB):** 1º de Bachillerato Social.

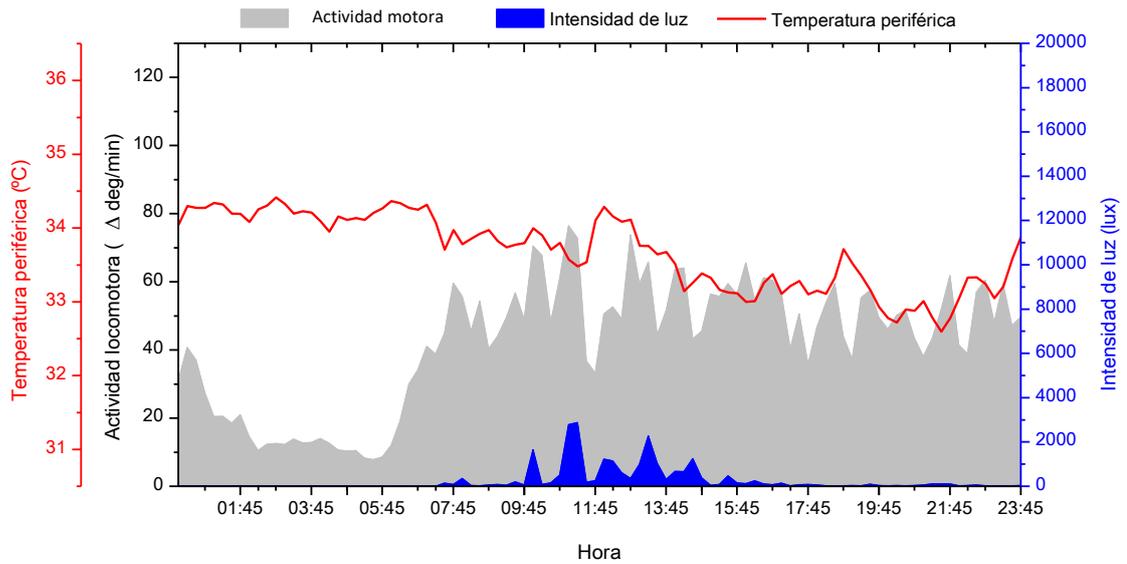
Esta agrupación se justificó por los test estadísticos pertinentes, tras calcular y comparar los promedios de intensidad de luz acumulada durante las horas lectivas, a partir de los datos proporcionados por los sensores que llevaban los sujetos (ver apartado de metodología). La prueba de T de Student para muestras relacionadas, realizadas dos a dos, confirmó intensidades de luz significativamente diferentes en los tres grupos (se consideró significativo un nivel de probabilidad inferior o igual a 0,05) (\* $p \leq 0,05$ ).



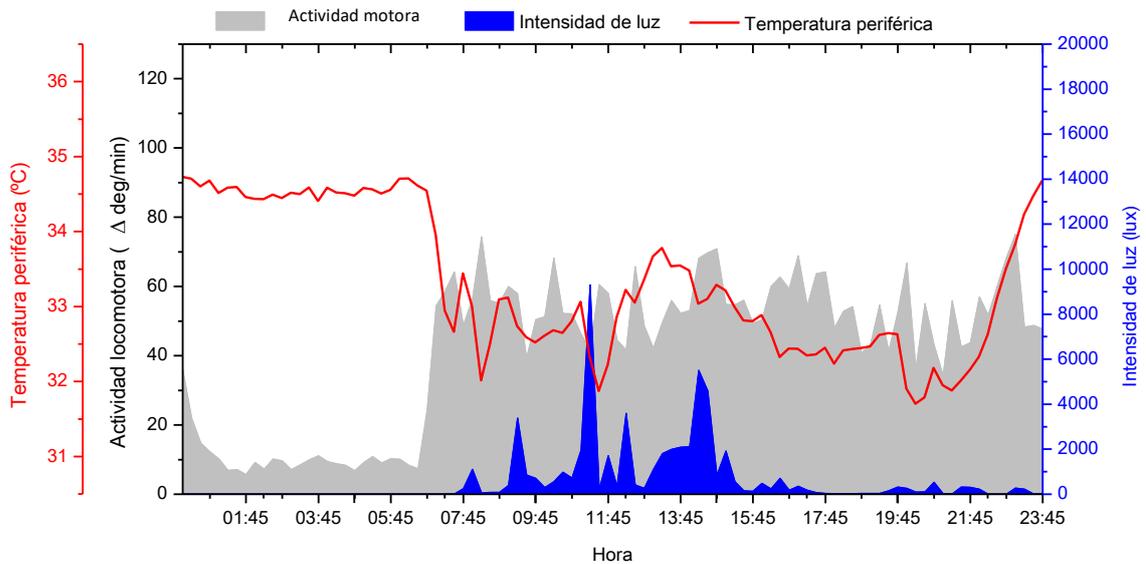
**Figura 5.** Promedios de las intensidades de luz acumulada en lux ( $lux \pm SEM$ ) correspondientes a cada uno de los grupos de luz establecidos. Se señalan las diferencias significativas obtenidas por T de Student (\* $p \leq 0,05$ ).

Todos los resultados presentados a partir de aquí serán considerados en función de estos grupos de luz.

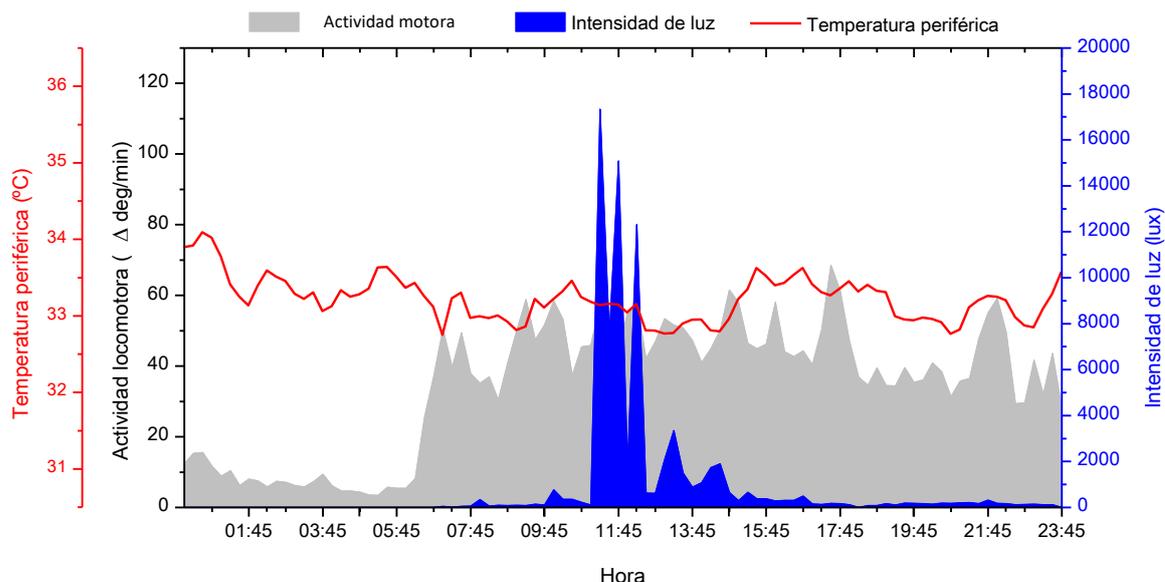
En las Figuras 6, 7 y 8 se representa el promedio del registro de las variables de actividad motora y TP y exposición a la luz, de cada grupo, en un ciclo de 24 horas, equivalente al ritmo circadiano, lo que permite observar, de forma rápida, la evolución y comparación de las variables durante el periodo nocturno y diurno.



**Figura 6.** Representación gráfica de la evolución temporal, en un ciclo de 24 horas, de las variables de actividad motora, TP e intensidad de luz, de los sujetos de estudio del grupo LB (1º de Bachillerato Social).



**Figura 7.** Representación gráfica de la evolución temporal, en un ciclo de 24 horas, de las variables de actividad motora, TP e intensidad de luz, de los sujetos de estudio del grupo LI (3º de ESO A, 3º de ESO B y 4º de ESO A).



**Figura 8.** Representación gráfica de la evolución temporal, en un ciclo de 24 horas, de las variables de actividad motora, TP e intensidad de luz, de los sujetos de estudio del grupo LA (1º de Bachillerato Ciencias).

Las Tablas 2 y 3, presentan los resultados de los parámetros circadianos de actividad motora y TP obtenidos en cada grupo de sujetos y los test estadísticos realizados. Posteriormente se aplicó un test estadístico ANOVA y *post-hoc Bonferroni* para determinar diferencias significativas entre los grupos de luz, por cada parámetro estudiado, considerándose significativo un nivel de probabilidad inferior o igual a 0,05 (\* $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 2.** Valores medios de los parámetros circadianos referentes a la actividad motora (media  $\pm$  SEM) considerados para el estudio y clasificados según grupo de luz. Adicionalmente se presentan los resultados de la estadística realizada (ANOVA y Bonferroni) y en rojo aparecen los p-valores que suponen diferencias significativas. Debajo de algunas de las variables se muestran los valores normalizados conocidos, para población adulta.

ACTIVIDAD	LA	LB	LI	ANOVA F	p entre aulas		
					LA-LB	LA-LI	LB-LI
MESOR (18-25)	42,53 $\pm$ 4,99	52,69 $\pm$ 2,23	51,45 $\pm$ 1,68	F=4,31 p=0,031	0,032	0,025	1
AMPLITUD	9,51 $\pm$ 2,40	7,1 $\pm$ 1,31	13,89 $\pm$ 3,62	F=0,67 p=0,52	1	1	0,05
ACROFASE	14:40 $\pm$ 1:0 2	12:40 $\pm$ 0:50	13:45 $\pm$ 0:45	F=3,42 p=0,071	0,02	1	0,05
RAY	0,76 $\pm$ 0,05	0,68 $\pm$ 0,03	0,67 $\pm$ 0,06	F=0,34 p=0,71	0,06	0,05	1
IE (0,2-1,00)	0,14 $\pm$ 0,03	0,17 $\pm$ 0,01	0,31 $\pm$ 0,04	F=4,31 p=0,039	1	0,04	0,052
IV (0,00-1,05)	1,53 $\pm$ 0,04	1,58 $\pm$ 0,2	1,52 $\pm$ 0,06	F=0,38 p=0,67	1	1	1
AR (0,68-1,00)	0,14 $\pm$ 0,03	0,16 $\pm$ 0,01	0,17 $\pm$ 0,08	F=1,8 p=0,21	1	0,48	0,44
CFI (0,45-1,00)	0,16 $\pm$ 0,02	0,18 $\pm$ 0,03	0,20 $\pm$ 0,04	F=2,42 p=0,13	1	0,39	0,26

**Tabla 3.** Valores medios de los parámetros circadianos referentes a la TP (media  $\pm$  SEM) considerados para el estudio y clasificados según grupo de luz. Adicionalmente se presentan los resultados de la estadística realizada (ANOVA y Bonferroni) y en rojo aparecen los p-valores que suponen diferencias significativas. Debajo de algunas de las variables se muestran los valores normalizados conocidos, para población adulta.

TP	LA	LB	LI	ANOVA F	p entre aulas		
					LA-LB	LA-LI	LB-LI
MESOR (33-34)	33,72 $\pm$ 0,36	33.9 $\pm$ 0,37	33,34 $\pm$ 0,17	F=12,48 p=0,032	1	0,042	0,009
AMPLITUD	1,8 $\pm$ 0,77	0,63 $\pm$ 0,11	0,87 $\pm$ 0,108	F=8,12 p=0,021	0,032	0,05	0,34
ACROFASE	01:40 $\pm$ 0:10	2:15 $\pm$ 0:10	2:10 $\pm$ 0:20	F= 6,32 p=0,03	0,021	0,05	0,67
RAY	0,88 $\pm$ 0,04	0,64 $\pm$ 0,01	0,71 $\pm$ 0,09	F=0,882 p=0,439	0,68	0,907	0,891
IE (0,4-1,00)	0,33 $\pm$ 0,016	0,28 $\pm$ 0,06	0,53 $\pm$ 0,05	F=2,54 p=0,035	0,875	0,03	0,371
IV (0,00-0,2)	0,14 $\pm$ 0,01	0,20 $\pm$ 0,01	0,11 $\pm$ 0,02	F=5,421 p=0,017	0,03	1	0,022
AR (0,01-0,022)	0,02 $\pm$ 0,006	0,01 $\pm$ 0,002	0,026 $\pm$ 0,003	F=1,23 p=0,327	1	0,494	1
CFI (0,46-1,00)	0,42 $\pm$ 0,05	0,39 $\pm$ 0,02	0,43 $\pm$ 0,05	F=9,48 p=0,032	0,033	0,01	1

## 2. Análisis de la calidad del sueño

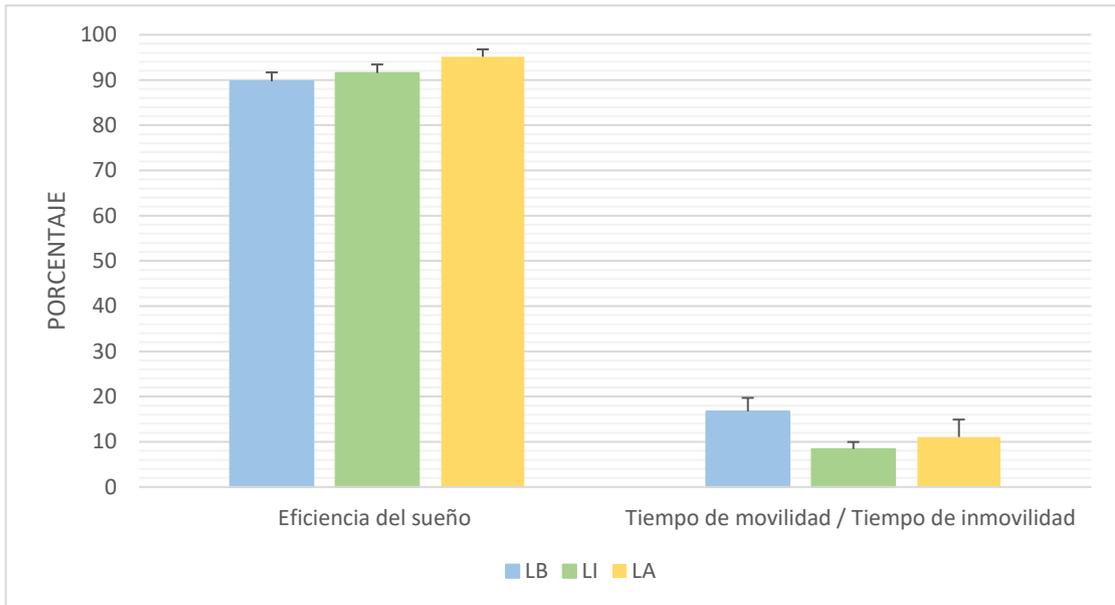
Los resultados obtenidos de los parámetros de calidad de sueño (Actiwatch Sleep 2001) se presentan en la Tabla 4 separados por los grupos establecidos.

**Tabla 4.** Valores medios (media $\pm$ SEM) de las variables de calidad de sueño (Actiwatch Sleep 2001), por cada grupo de luz.

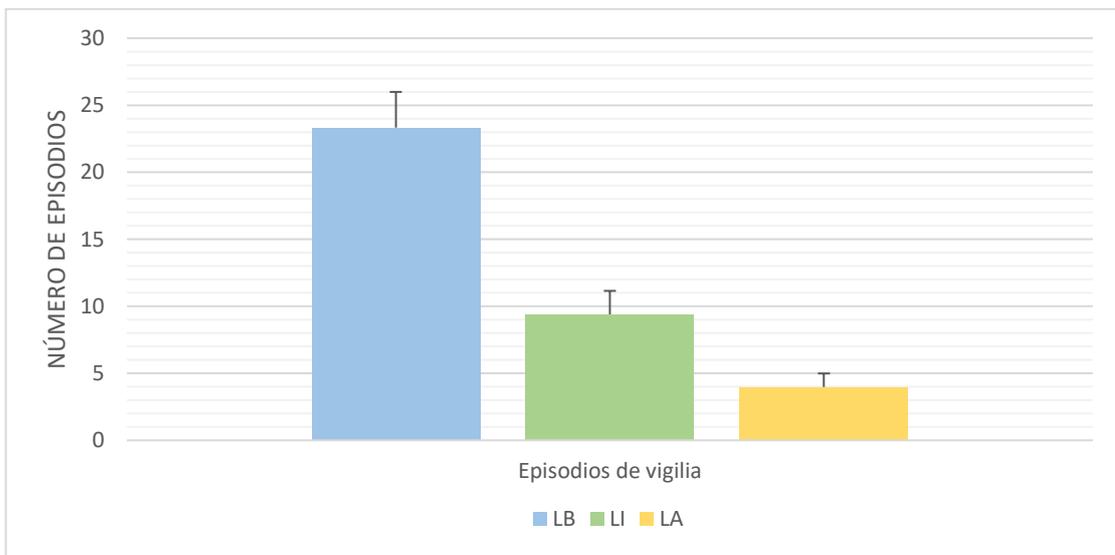
Grupos de Luz	Eficiencia del sueño (%)	Latencia del sueño (min)	Episodios de vigilia	Tiempo de movilidad / Tiempo de inmovilidad (%)
LB	89,7 $\pm$ 1,97	17 $\pm$ 2,1	23,33 $\pm$ 2,67	16,72 $\pm$ 2,98
LI	91,55 $\pm$ 1,88	11 $\pm$ 2,59	9,4 $\pm$ 1,75	8,39 $\pm$ 1,56
LA	95,13 $\pm$ 1,65	7 $\pm$ 1,12	3,98 $\pm$ 1,01	11,05 $\pm$ 3,86

En las Figuras 9, 10, y 11 se representan gráficamente los resultados obtenidos de eficiencia, latencia, episodios de vigilia y el porcentaje de tiempo de movilidad/ tiempo de inmovilidad, variables más significativas a la hora de valorar la calidad de sueño.

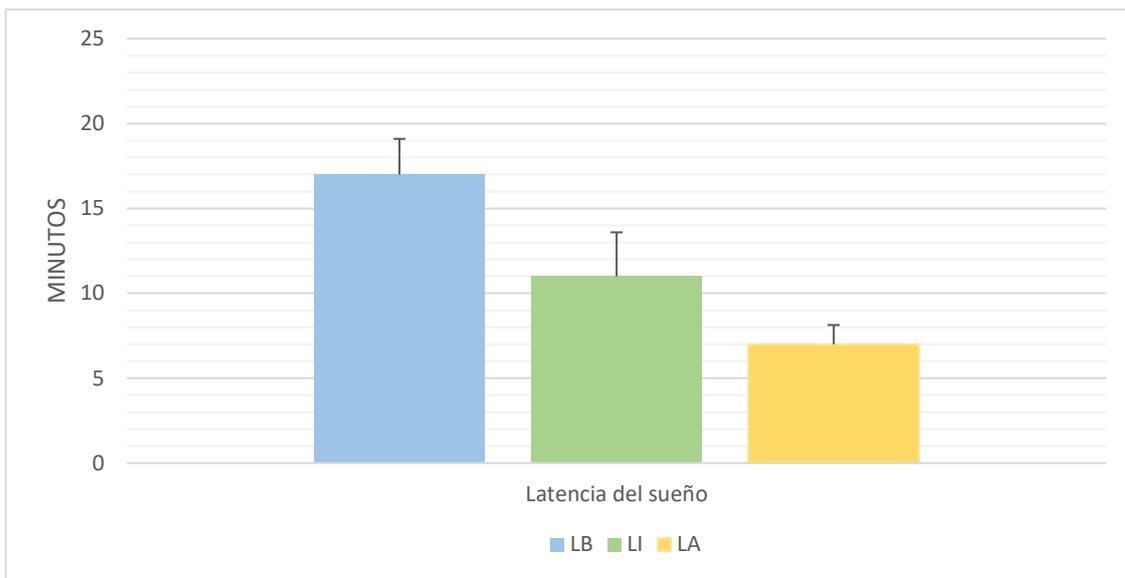
Se realizó un test ANOVA para determinar diferencias significativas entre grupos de luz en cada uno de los parámetros estudiados, considerándose significativo un nivel de probabilidad inferior o igual a 0,05 (\*p $\leq$ 0,05).



**Figura 9.** Comparación de los parámetros eficiencia del sueño y tiempo de movilidad/tiempo de inmovilidad (media±SEM) en cada grupo de luz. Tras un ANOVA se observaron diferencias significativas en función de la luz incidente, en ambos parámetros (Eficiencia:  $F_{2,429}=4,67$ ,  $p=0,045$ ; Tiempo de movilidad/Tiempo de inmovilidad:  $F_{2,429}=0,04$ ).



**Figura 10.** Comparación del parámetro episodios de vigilia (media±SEM) en cada grupo de luz. Se presentan los promedios acumulados y los errores típicos. Tras un ANOVA se observaron diferencias significativas en función de la luz incidente ( $F_{2,429}=7,34$ ,  $p=0,001$ ).



**Figura 11.** Comparación del parámetro latencia del sueño (media±SEM) en cada grupo de luz. Tras un ANOVA no se observaron diferencias significativas en función de la luz incidente ( $F_{2,429}=3,54$ ,  $p=0,07$ ).

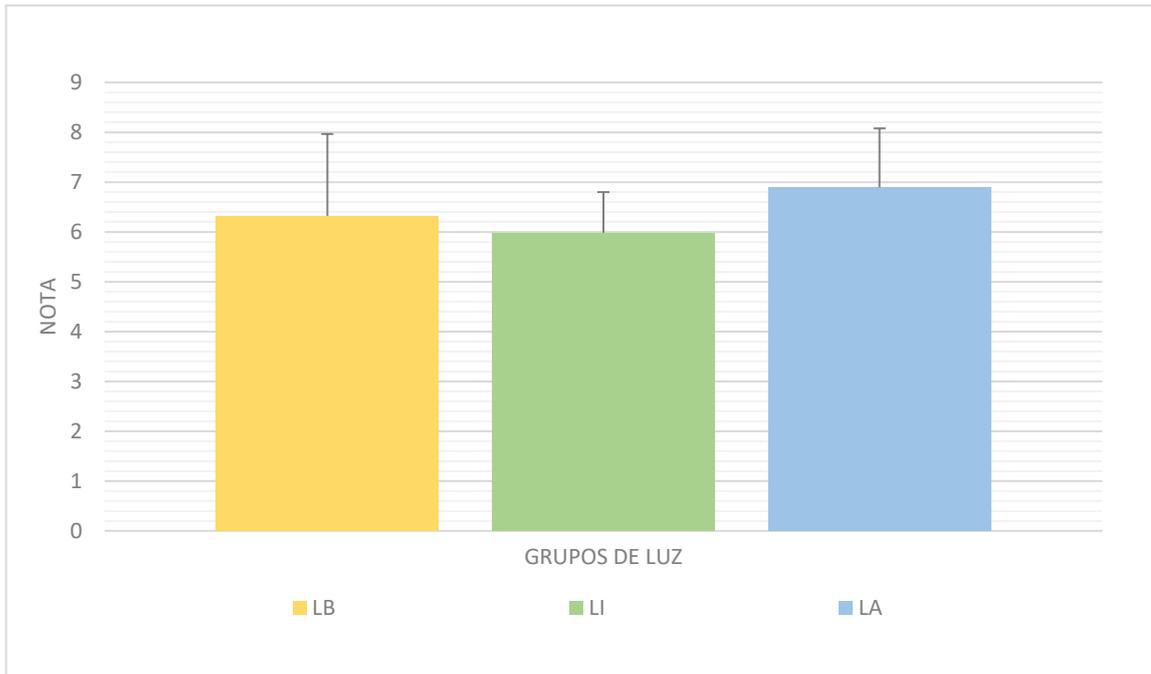
### 3. Análisis del rendimiento académico

Para analizar el rendimiento académico de los sujetos se han seguido los mismos criterios que para las variables anteriores, el agrupamiento de las aulas por grupos de luz. En la Tabla 5 se presenta el promedio acumulado de notas de cada grupo durante el primer y el segundo semestre del curso 2018/2019. Estos resultados han sido obtenidos a partir de la nota media de todas las asignaturas de cada alumno (y de cada curso en el grupo LI,) que han sido promediadas para obtener la nota media de cada grupo de luz.

**Tabla 5.** Resultados académicos (Nota media±SEM) de los sujetos durante el primer y segundo trimestre del curso 2018/2019, según grupos de luz.

Grupos de luz	Aulas del grupo	Nota media ± SEM
LB	1º de Bachillerato Social	6,32 ± 1,64
LI	4º de ESO A, 3º de ESO A y 3º de ESO B	5,98 ± 0,81
LA	1º de Bachillerato Ciencias	6,89 ± 1,18

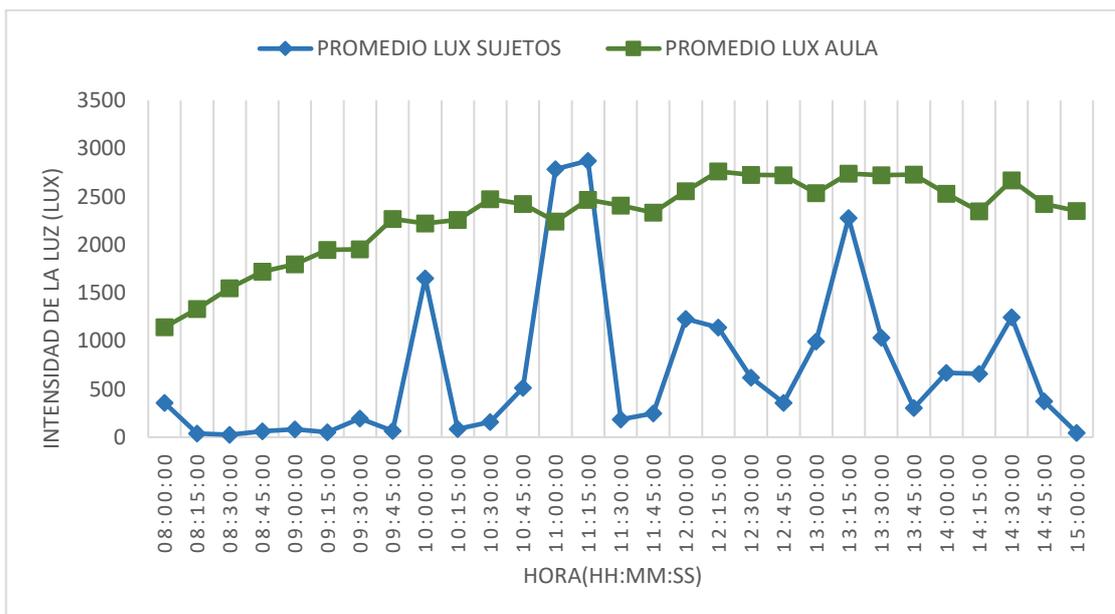
En la Figura 12 se representan los resultados anteriores. Se analizaron los datos por ANOVA, considerándose significativo un nivel de probabilidad inferior o igual a 0,05 (\* $p \leq 0,05$ ).



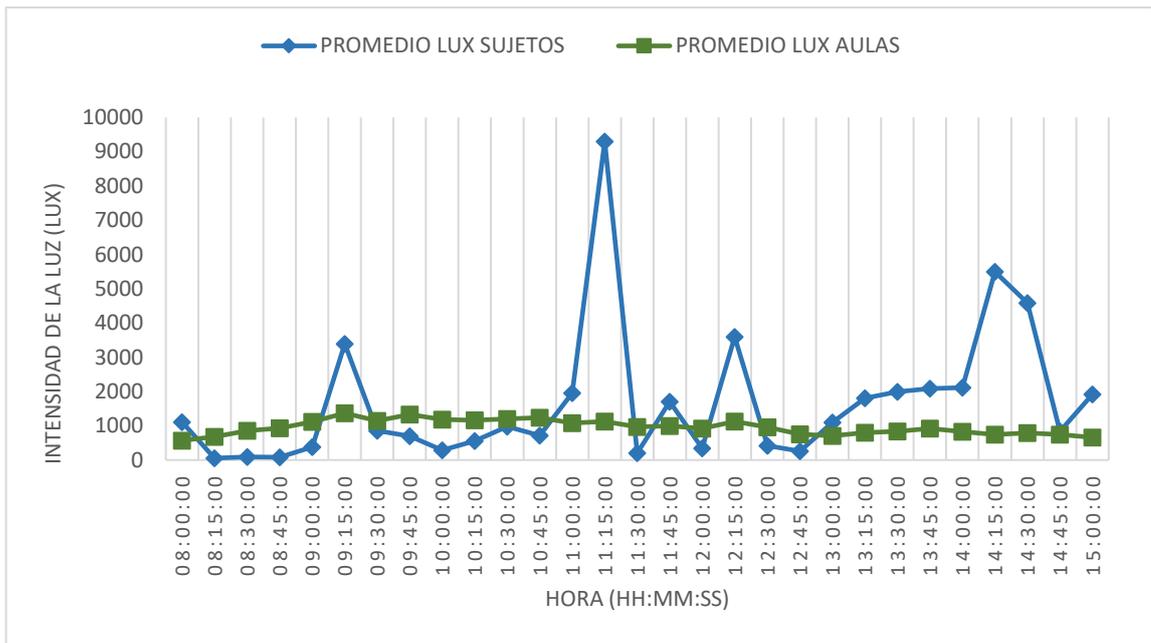
**Figura 12.** Resultados académicos (Nota media±SEM) durante el primer y segundo trimestre del curso escolar 2018/2019 en los grupos de luz. Tras test ANOVA, no se observaron diferencias significativas en función de la luz incidente ( $F_{2,56}=2,245, p=0,1156$ ).

#### 4. Análisis de la intensidad de la luz en las aulas

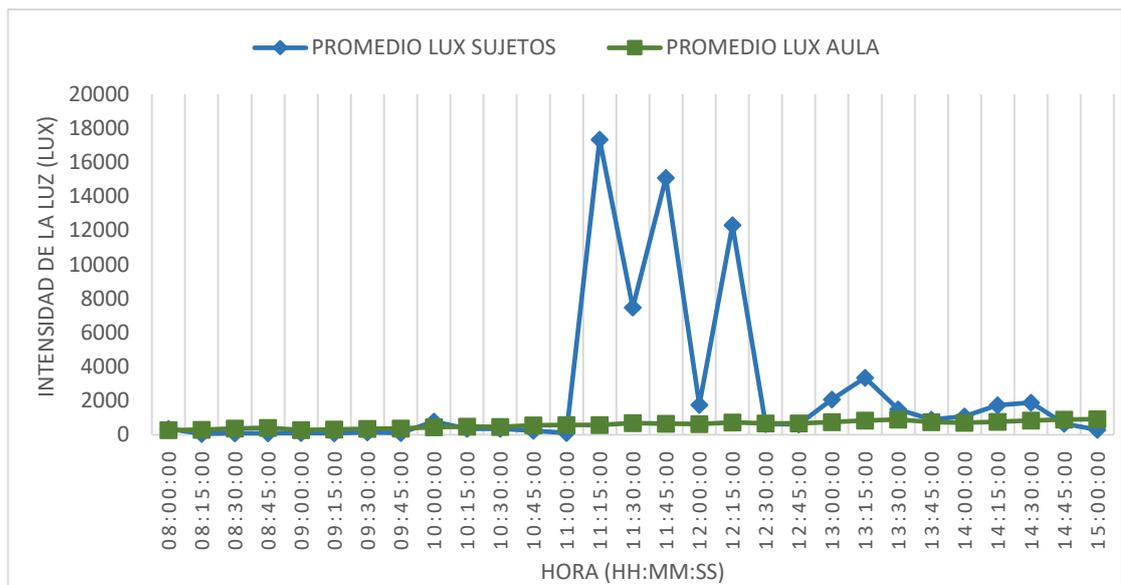
Las Figuras 13, 14 y 15 comparan la evolución de la intensidad de luz incidente, durante las horas lectivas, que reciben los sujetos de cada uno de los grupos de luz (luz real) respecto a la evolución temporal de la intensidad de luz que tienen las aulas en el periodo no docente, en la cual la luz incidente no sufre alteraciones de las actividades que se desarrollan en las mismas. De esta forma se puede analizar y comparar el potencial lumínico que tiene cada aula, en relación a su disposición y su arquitectura.



**Figura 13.** Comparación de la evolución temporal (en horas lectivas) entre la intensidad de luz (Lux) que recibe el aula y la intensidad de luz (Lux) que incide sobre los sujetos del grupo LB.



**Figura 14.** Comparación de la evolución temporal (en horas lectivas) entre la intensidad de luz (Lux) que recibe el aula y la intensidad de luz (Lux) que incide sobre los sujetos del grupo LI.



**Figura 15.** Comparación de la evolución temporal (en horas lectivas) entre la intensidad de luz (Lux) que recibe el aula y la intensidad de luz (Lux) que incide sobre los sujetos del grupo LA.

En la Tabla 6 se presenta el promedio de intensidad de luz acumulada en lux ( $\text{media} \pm \text{SEM}$ ) en los dos casos analizados (luz real y potencial lumínico), en horas lectivas y por cada grupo de luz. Los datos se analizaron estadísticamente por T de Student para muestras relacionadas, considerándose significativo un nivel de probabilidad inferior o igual a 0,05.

**Tabla 6.** Comparación entre los promedios acumulados de la intensidad de la luz (Lux) que reciben los sujetos (luz real) y la intensidad de la luz que incide en las aulas (Media  $\pm$  SEM), en horario lectivo, para cada uno de los grupos de luz. Análisis estadístico por T de Student (en rojo aparecen los p-valores que suponen diferencias significativas) (\* $p \leq 0,05$ ).

Grupos de Luz	Intensidad de la luz (Lux) $\pm$ SEM		p-valor
	Luz Sujetos	Luz Aula	
LB	703,55 $\pm$ 166,67	2288,11 $\pm$ 432,12	0,000
LI	1903,95 $\pm$ 415,64	956,99 $\pm$ 276,29	0,017
LA	2836,21 $\pm$ 160,15	631,7 $\pm$ 971,25	0,013

## DISCUSIÓN

Como ya se ha expuesto anteriormente, numerosos estudios indican que durante la adolescencia la tendencia a acostarse más tarde es muy frecuente, lo que conlleva una falta de sueño crónica acompañada, a menudo, por somnolencia diurna (Gradisar, et al., 2011; Escribano et al., 2012). Cada vez se tienen más evidencias que, si bien esta tendencia ha sido atribuida a influencias externas, principalmente condicionantes sociales, el cambio a cronotipo vespertino (predisposición a acostarse más tarde y prolongar el descanso hasta bien entrada la mañana) se debe también a cambios fisiológicos relacionados con los cambios hormonales de la pubertad (Hagenauer et al., 2012). La tendencia a cambiar a cronotipo vespertino, en estas edades, no se corresponde con un horario lectivo adecuado. Precisamente, es a partir de esta edad, cuando se adelanta el inicio de la jornada lectiva y frecuentemente, las asignaturas que requieren una mayor concentración se imparten a primera hora de la mañana. A esto se le suman factores psicológicos y comportamentales, como el deseo de independencia de muchos adolescentes, que los lleva a oponerse a los horarios de sueño establecidos por sus padres, o el mayor uso de redes sociales y dispositivos móviles a elevadas horas de la noche. El conjunto de estos factores ha sido descrito como “The Perfect Storm” (Carskadon et al., 2011) y hace referencia a cómo el periodo de sueño real de los adolescentes se ve acortado.

El principal interés de este estudio ha sido analizar esta tendencia en una muestra de adolescentes entre 14 y 18 años, en relación a la exposición lumínica, dado que (como se ha mencionado) la luz es el “zeitgeber” principal del ritmo sueño-vigilia. La luz tiene un profundo impacto sobre la secreción hormonal, la función cognitiva, la calidad del sueño y la capacidad de alerta (LeGates et al., 2014). En cuanto al ámbito escolar, se ha visto que la luz tiene repercusiones en la concentración y el rendimiento académico de los alumnos (Barkmann et al., 2011). De acuerdo a la hipótesis planteada, se esperaría una mejor calidad del sueño, un ritmo circadiano más ajustado y un mejor rendimiento académico en relación a una mayor exposición a la luz, y de hecho podría esperarse que se produjera una atenuación del retardo de fase o la falta de sueño crónica en los adolescentes.

Para el estudio hemos contado con una metodología eficaz para medir la intensidad de la luz en las aulas, así como la intensidad de luz real que incide en una muestra representativa de sujetos, de forma continua. El análisis de la intensidad de luz real que ha incidido en los sujetos, durante las horas lectivas, ha permitido establecer grupos de luz en base a la intensidad incidente. La Figura 5 presenta esta distribución y el análisis estadístico derivado. El hecho de mantener la diferencia entre el grupo LI y el grupo LA, a pesar de no presentar diferencias significativas, es debido a que surge un hecho diferencial entre las edades de los sujetos. El grupo LI está formado por alumnos de edades menores a los grupos LA y LB (ya que son alumnos que cursan ESO). Hay algunos estudios que diferencian entre adolescentes prepúberes y adolescentes maduros en base al sueño comportamental (Taylor et al.,

2005). La diferencia entre los dos se basa en características físicas estandarizadas (Tanner, 1962). Si bien en este trabajo no hemos aplicado estos criterios, sí que consideramos hacer esta distinción. Las variables estudiadas, parámetros circadianos del ritmo sueño-vigilia, calidad de sueño y rendimiento académico, se ha analizado en base a esta distribución.

Los resultados obtenidos a partir del registro de la actividad motora y la TP se exponen en las Figuras 6,7 y 8, correspondientes a la distinta exposición a la luz incidente, y en las Tablas 2 y 3. Las Figuras 6, 7 y 8 representan el promedio del registro de las variables de actividad motora y TP y exposición a la luz, de todos los sujetos, en un ciclo de 24 horas, lo que permite observar, de forma rápida, la evolución de las variables durante el periodo nocturno y diurno. Existe una falta de metodología estandarizada para el procesamiento y análisis de los valores circadianos de las distintas variables, esto dificulta la discusión y análisis de los resultados. Los pocos valores normalizados, en relación a la población adulta se han representado en las Tablas 2 y 3. Sin embargo, son poco inferibles a la población adolescente.

Se puede observar, como era previsible, que la TP presenta valores más altos durante la noche, coincidiendo con los valores más bajos de actividad motora, en las tres gráficas (6,7,8). Se puede observar que la actividad nocturna en el grupo de LB es más elevada que en los otros dos grupos, acompañado de un cese de actividad más retardada y más fragmentada (hora de acostarse a las 2:00h aproximadamente) y acompañado de un ritmo de TP más aplanado, si lo comparamos con el grupo LI principalmente. Los parámetros circadianos de actividad (Tabla 2) así lo corroboran, observándose una amplitud significativamente más elevada en los grupos LA y LI, y una mayor estabilidad (IE, estabilidad del ritmo entre los días sucesivos), menor variabilidad (IV, alteración del ritmo diario) y mayor robustez (CFI) en el grupo. Si consideramos que una mayor estabilidad y amplitud relativa y menor variabilidad, son indicativos de un mejor ajuste del ritmo circadiano con la alternancia día-noche, podemos afirmar que estos parámetros siempre han sido en el sentido de un mayor ajuste en el grupo LI respecto a los otros dos grupos, incluyendo el LA. Tal vez podría explicarse por el efecto no tan solo de la luz sino también de la edad. Los adolescentes prepúberes son los que forman el grupo LI (ver distribución de grupos) y tienen un mejor ajuste del ritmo de actividad motora y de la calidad de sueño, dado que la tendencia a un cronotipo vespertino es más incipiente (Taylor et al. 2005). Los resultados son más claros cuando observamos los parámetros de TP (Tabla 3). Las amplitudes del ritmo (indicativo de un mayor contraste del ciclo) son más elevadas en los grupos LA y LI, significativos en el grupo LA. El efecto de la luz es más acentuado en los parámetros de TP, por ser un marcador más importante que la actividad, del buen funcionamiento circadiano. De acuerdo con ello, los resultados de la Tabla 3 va en esta dirección. Los grupos LA y LI presentan una mayor estabilidad (IE), menor variabilidad (IV) y un mayor índice de Rayleigh, que indica una mayor ritmicidad. Debido a ello, el CFI (mayor robustez) es también más elevado en los grupos LA y LI respecto al LB, aunque solo significativo en el grupo LA. En todos los casos parece haber una tendencia a un mayor ajuste en los grupos LA y LI frente al grupo LB. El número de sujetos analizados es bajo para sacar conclusiones determinantes, pero la tendencia, en el sentido de la mejora del ritmo, por los efectos de la luz es evidente. Un capítulo especial se merecen los resultados de la acrofase (hora de mayor valor de la variable). Las acrofases de la actividad y TP están más retardadas en el grupo LB y grupo LI. Estos resultados se corresponden al cronotipo vespertino que presentan los adolescentes de acuerdo a la literatura mencionada. En este caso, si parece que el efecto de la luz elevada en el grupo LA ha influido, con un adelanto de la acrofase tanto en la TP como en la actividad.

En relación a la calidad de sueño se han representado aquellos resultados más indicativos del ajuste del ritmo sueño-vigilia: eficiencia, latencia, número de episodios de vigilia (más numerosos en relación a una mayor fragmentación) y la relación entre el tiempo que el sujeto se ha movido en el periodo nocturno en relación a la inmovilidad (%Tiempo de movilidad/Tiempo de inmovilidad), del periodo asumido como sueño. La mayor eficiencia del sueño se ha observado en el grupo LA, quienes además presentan la menor latencia del sueño y el menor número de episodios de vigilia de los tres grupos

(Figuras 9,10 y 11). Únicamente el porcentaje movilidad/inmovilidad ha sido menor en el grupo LI (Figura 9). El grupo LB presenta valores indicativos de una calidad de sueño menor que los otros dos grupos. La intensidad de luz incidente durante el día (especialmente por la mañana) junto a un buen contraste luz día/oscuridad noche incide directamente sobre la calidad de sueño (Rubiño et al., 2017). Aunque los estudios del efecto de la luz por la mañana son contradictorios sobre la calidad del sueño de los adolescentes, lo que es cierto es que siempre se ha relacionado con un mejor ajuste del ritmo en aquellos casos en que esté establecido un cronotipo vespertino. De hecho, este estudio, aunque, con una muestra reducida de sujetos, lo ha demostrado. En todos los casos el grupo LA muestra mejor calidad de sueño que los otros grupos.

El último parámetro que se ha comparado es el rendimiento académico de los alumnos de los tres grupos de luz (Figura 12). La nota media más alta fue alcanzada en el grupo LA, la más baja en el grupo LI, pero no se han encontrado diferencias significativas en ninguno de los tres grupos estudiados. No parece ser una coincidencia que las notas más altas también corresponden a los alumnos de 1º de Bachillerato Ciencias. Se trata de un grupo con alumnos que tienen una mayor presión académica, ya que muchas de las carreras científicas presentan notas de corte más altas que otras. Además, las notas más bajas las presentan los alumnos que cursan E.S.O. y no están sometidos a la misma presión por alcanzar las mejores calificaciones posibles. Debido a esto, no solamente la mejor calidad de sueño y el mejor ritmo circadiano juegan un papel en el hecho de que el grupo LA presente también las mejores cualificaciones. El factor presión académica también ha de ser considerado a la hora de explicar los diferentes resultados académicos, ya que se trata de cursos escolares con niveles de dificultad también diferentes. Es difícil discernir entre los efectos de luz o los efectos de la distinta presión académica. Faltarían datos en grupos académicos homogéneos. Este hecho no se pudo dar por las características de las aulas, donde el hecho diferencial de la intensidad de luz correspondía a cursos académicos diferentes.

Un punto especialmente interesante del estudio ha sido comparar la intensidad de la luz que reciben los alumnos cuando se sitúan en sus aulas, con el potencial lumínico de estas aulas (Figuras 13, 14 y 15). Dada una determinada arquitectura de un aula, con un potencial lumínico determinado, las acciones que se realizan dentro la misma modulan y cambian la intensidad de luz que finalmente llega a los sujetos. Estudios de TFG anteriores ha demostrado este hecho (García Rodenas, 2017; Vidal, 2019). Debido a ello, fue interesante comparar el potencial lumínico del aula en un periodo no lectivo con la luz real, en cada grupo (Figuras 13, 14 y15). Curiosamente, los resultados demostraron que el aula 1º de Bachillerato Social (cuyos alumnos reciben la menor intensidad de luz), es el aula con mayor potencial lumínico. Paralelamente, en el aula 1º de Bachillerato Ciencias (cuyos alumnos reciben la mayor intensidad de luz), incide la menor cantidad de luz. La explicación más lógica a esta contradicción parece ser el uso de los proyectores durante las horas lectivas, que obliga frecuentemente a apagar las luces y poner las cortinas para incrementar el contraste y aumentar la visibilidad de la pantalla. Esto reduce sustancialmente la intensidad de la luz que incide finalmente en el interior del aula. Este hecho, que no es banal, se repite constantemente en la mayoría de las aulas, como se ha demostrado en estudios anteriores, con las aulas de la UIB (García Rodenas, 2017). Es un problema al cual se debería dar solución que, en este caso, serían soluciones técnicas acerca de mejorar la calidad de los proyectores o ubicar estos de manera que no interfirieran en la luz incidente.

Los resultados obtenidos en este estudio han constituido una manifestación más de las muchas que existen, sobre la importancia que tiene la exposición a la luz en la fisiología y el comportamiento humano y concretamente en un periodo de la vida, como es la adolescencia, donde los cambios fisiológicos interfieren en parámetros como la calidad de sueño y el ritmo sueño-vigilia, con repercusiones en el rendimiento académico en una etapa donde este factor es sumamente importante. Consideramos que estos resultados pueden suponer una base científica sólida para plantearse posibles cambios en los horarios y en la distribución de los espacios educativos.

Se ha demostrado que los malos hábitos de iluminación y sueño desarrollados durante la adolescencia en seres humanos podrían prolongar la presencia de un cronotipo tardío hasta la edad adulta temprana, con las repercusiones consecuentes (Hagenauer et al., 2012).

## CONCLUSIONES

---

1. Respecto al ritmo sueño-vigilia, se ha encontrado la tendencia a un mejor ajuste en los grupos de mayor exposición a la luz (LA y LI) frente al grupo de menor exposición (LB). Las acrofases, tanto de la actividad como de la TP están más retardadas en el grupo LB y grupo LI, lo que se corresponde al cronotipo vespertino que presentan los adolescentes. En cambio, el adelanto significativo de la acrofase en la TP y, en menor medida, de la acrofase de la actividad del grupo LA, con una atenuación clara del cronotipo vespertino, parece ser resultado del efecto de la exposición a una mayor intensidad de luz.
2. Respecto a la calidad de sueño, el grupo LA presenta los mejores resultados, de los tres grupos, en los parámetros analizados: eficiencia, número de episodios de vigilia y latencia, con resultados significativos en los dos primeros, lo que hace suponer el efecto de la exposición a intensidades de luz elevada en la calidad de sueño de los adolescentes.
3. En cuanto al rendimiento, nuevamente se han obtenido mejores resultados en el grupo LA. Sin embargo, se trata de un resultado cuestionable, ya que es difícil comparar los resultados académicos de cursos escolares tan heterogéneos.
4. En relación al análisis del potencial lumínico de las aulas y su comparación con la luz real que incide en los alumnos, se ha encontrado una clara diferencia: el aula del grupo LA presenta una intensidad de luz significativamente más baja, mientras el aula del grupo LB presenta una intensidad de luz significativamente más alta, en clara contradicción con la luz que finalmente incide en los sujetos. Se cree que estas diferencias se deben a las acciones asociadas, entre otros, a la utilización de proyectores. Estos resultados inciden en una problemática, ya expuesta en estudios anteriores, y que suponen la falta de aprovechamiento de la luz incidente, con las consecuentes repercusiones, en una población adolescente sensible a la falta de luz.

Es importante destacar algunas limitaciones del estudio, sobre todo de cara a futuros estudios o Trabajos de fin de Grado en el área de Fisiología Humana de la UIB. La selección del colegio para realizar este tipo de estudios es crucial, ya que de él dependerá el número de sujetos con los que se podrá contar. En cuanto a este estudio, una de las limitaciones es el número más bien bajo de sujetos de estudio el Aula Balear. Obviamente nunca se puede conocer el número de voluntarios que tendrá un estudio, pero en un colegio con más clases por curso escolar, y por lo tanto más alumnos de un mismo grupo, la probabilidad de tener un mayor número de voluntarios es también más alta. Otro factor a tener en cuenta es la heterogeneidad de los cursos escolares seleccionados para comparar rendimientos académicos. En el marco de este estudio se han seleccionado los cursos desde 3º de E.S.O. hasta 1º de Bachillerato, por la edad de sus alumnos, pero la posterior agrupación por grupos de luz ha marcado claras diferencias también en los niveles académicos, hecho que dificulta la comparación directa de resultados académicos. Así, por ejemplo, sería interesante llevar a cabo futuros estudios comparando el efecto de la luz en el rendimiento académico de alumnos de las mismas edades y también del mismo curso escolar.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Ángeles-Castellanos, M., Rodríguez, K., Salgado, R., & Escobar, C. (2007). Cronobiología médica. Fisiología y fisiopatología de los ritmos biológicos. *Rev Fac Med UNAM*, 50(6), 238-41.
- Barkmann, C., Wessolowski, N., & Schulte-Markwort, M. (2012). Applicability and efficacy of variable light in schools. *Physiology & Behavior*, 105, 621–627.
- Campos, M., Morales, R., Madrid, J. A., Rol, M. A., Sosa, J., & Sosa, M. (2010). Circadianware. *Spain Patent 8*, 183.
- Carskadon M. A. (2011). Sleep in adolescents: the perfect storm. *Pediatric clinics of North America*, 58(3), 637–647.
- Carskadon, M.A., Vieira, C., & Acebo, C. (1993). Association between Puberty and Delayed Phase Preference. *Sleep*, 16(3), 258–262.
- Carvalho-Bos, S. S., Riemersma-Van der Lek, R. F., Waterhouse, J., Reilly, T., & Van Someren, E. J. (2007). Strong association of the rest-activity rhythm with well-being in demented elderly women. *American Journal Geriatry and Psychiatry*, 15, 92–100.
- Challamel, M. J., Clarisse, R., Levi, F., Laumon, B., Testu, F., & Touitou, Y. (2001). Rythmes de l'enfant: de l'horloge biologique aux rythmes scolaires.
- Díez-Noguera, A. (2006). Representación gráfica y análisis de datos en Cronobiología. In Madrid, J.A. y Rol de Lama, M.A. (eds.). *Cronobiología básica y clínica*. Madrid: Editec@red SL, 102–107.
- Dijk, D., & Archer, S. N. (2009). Light , Sleep , and Circadian Rhythms : Together Again. *Plos Biology*, 7(6), 7–10.
- Escames, G., & Acuña-Castroviejo, D. (2009). Melatonina, analogos sinteticos y el ritmo sueño/vigilia. *Revista de Neurologia*, 48(5), 245–254.
- Escribano, C., Díaz-Morales, J. F., Delgado, P., & Collado, M. J. (2012). Morningness/eveningness and school performance among Spanish adolescents: Further evidence. *Learning and Individual Differences*, 22(3), 409-413.
- Gangwisch, J.E., Babiss, L.A., Malaspina, D., Turner, J.B., Zammit, G.K., & Posner, K. (2010). Earlier parental set bedtimes as a protective factor against depression and suicidal ideation. *Sleep*, 33(1), 97–106.
- García Rodenas, S. (2017). *Análisis de la intensidad de la luz incidente en aulas de la UIB* (Trabajo Fin de Grado). Universidad de las Islas Baleares, España. <http://hdl.handle.net/11201/145682>.
- Gradisar, M., Dohnt, H., Gardner, G., Paine, S., Starkey, K., Menne, A., ... & Trenowden, S. (2011). A randomized controlled trial of cognitive-behavior therapy plus bright light therapy for adolescent delayed sleep phase disorder. *Sleep*, 34(12), 1671-1680.
- Guerrero, J. M., Carrillo-Vico, A., & Lardone, P. J. (2007). La melatonina. *Investigación y ciencia*, 373, 30-38.
- Haffen E. (2009). Measuring circadian rhythms. *Encephale*, 35 ,63–S67.
- Hagenauer, M. H., & Lee, T. M. (2012). The neuroendocrine control of the circadian system: adolescent chronotype. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 33(3), 211-229.
- Hagenauer, M. H., Perryman, J. I., Lee, T. M., & Carskadon, M. A. (2009). Adolescent changes in the homeostatic and circadian regulation of sleep. *Developmental neuroscience*, 31(4), 276–284.
- Jenni, O. G., Achermann, P., & Carskadon, M. A. (2005). Homeostatic sleep regulation in adolescents.

*Sleep*, 28(11), 1446-1454.

Kräuchi, K., Cajochen, C., Werth, E., & Wirz-Justice, A. (2000). Functional link between distal vasodilatation and sleep-onset latency? *Am. J Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol.*, 278: RF41-R748

Martínez-Nicolas, A., Ortiz-Tudela, E., Madrid, J.A., & Rol, M.A. (2011). Crosstalk between environmental light and internal time in humans. *Chronobiol Int.* 28(7), 617-29.

Ortiz-Tudela, E., Martínez-Nicolas, A., Campos, M., Rol, M. Á., & Madrid, J. A. (2010). A new integrated variable based on thermometry, actimetry and body position (TAP) to evaluate circadian system status in humans. *PLoS computational biology*, 6(11), e1000996.

Rubiño, J. A., Gamundí, A., Akaarir, M., Cañellas, F., Rial, R., Ballester, N., & Nicolau, M. C. (2017). Effects of differences in the availability of light upon the circadian rhythms of institutionalized elderly. *Chronobiology international*, 34(9), 1197-1210.

Short, M.A., Gradisar, M., Wright, H., Lack, L.C., Dohnt, H., & Carskadon, M.A. (2011). Time for bed: Parent-set bedtimes associated with improved sleep and daytime functioning in adolescents. *Sleep*, 34(6), 797-800.

Tanner, J.M. (1962) Growth at adolescence. 2nd Edition, *Blackwell Scientific Publications*, Oxford.

Taylor, D. J., Jenni, O. G., Acebo, C., & Carskadon, M. A. (2005). Sleep tendency during extended wakefulness: insights into adolescent sleep regulation and behavior. *Journal of sleep research*, 14(3), 239-244.

Toh, K. L., Med, M. I., Uk, M., & Genet, H. (2008). Basic Science Review on Circadian Rhythm Biology and Circadian Sleep Disorders. *Ann. Academy of Medicine Singapore*, 662–668.

Torres, J. S. S., Cerón, L. F. Z., Amézquita, C. A. N., & López, J. A. V. (2013). Ritmo circadiano: el reloj maestro. Alteraciones que comprometen el estado de sueño y vigilia en el área de la salud. *Morfología*, 5(3).

Vidal, L. (2019). Estudio de la exposición de luz y sus repercusiones sobre el ritmo sueño vigilia, en las aulas de la UIB. Un estudio comparativo (Trabajo Fin de Grado). Universidad de las Islas Baleares, España. <http://hdl.handle.net/11201/149003>

Winterbottom, M., & Wilkins, A. (2009). Lighting and discomfort in the classroom. *Journal of Environmental Psychology*, 29(1), 63–75.

Wolfson, A. R., & Carskadon, M. A. (1998), Sleep Schedules and Daytime Functioning in Adolescents. *Child Development*, 69: 875-887.