



## Effect of electronic device nocturnal exposure on the human circadian system

**Autor:** Antonio López Vergara

**Institución:** Universidad de Murcia

**Otros autores:** Antonio Martínez Nicolás (Universidad de Murcia); Juan Antonio Madrid Pérez (Universidad de Murcia); María Ángeles Rol de Lama (Universidad de Murcia)

## Resumen

Until the development of artificial light sources, life evolved under a cyclic environment where the sun was the main source of light. Thus, living organisms developed endogenous timing mechanisms to orchestrate temporal coordination of their physiology with their environment, a task performed by the circadian system (CS). Nocturnal blue light exposure, the most efficient to suppress melatonin secretion is currently increasing because the proliferation of energy-efficient lighting (LEDs) as well as a wide spread of electronics devices with screens, contributing to the disorganization of our circadian system (chronodisruption). Thus, the main objective of this study was to analyze the influence of nocturnal blue light exposure from electronic devices on circadian system health evaluated by circadian ambulatory monitoring (CAM).

To this, 12 healthy young subjects were recruited and their light exposure, skin wrist temperature, activity and body position rhythms were recorded, while maintaining their habitual nocturnal use of electronic devices (during 7 days) and after 3 days of avoiding this use during that period. CAM was performed with 3 data loggers: Ibutton (ThermoChron®, IDC S.A., Spain), Hobo (HOBO® Pendant Temperature/Light) and Hobo (Hobo® Pendant G Acceleration Data Logger).

This novel pilot study demonstrated that avoiding light-emitting diodes backlit screen exposure phase advances the sleep wake pattern, and increases the Circadian Function Index (CFI) for skin temperature, activity, body position and composite TAP variable patterns, indicating an augmentation in circadian robustness.

In conclusion, the results show a clear improvement in the biological variables analyzed during the intervention phase restricting electronic devices use during the night period, evidencing their cronodisruptive effects.

**Palabras clave:** blue light; human circadian system; circadian rhythms; circadian disruption; melatonin; ambulatory monitoring; light exposure.



Facultad de Biología  
Universidad de Murcia

# Effect of electronic device nocturnal exposure on the human circadian system

Autor: Antonio López Vergara

# Índice de contenidos

<b>1. ABSTRACT</b> .....	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
2.1. CRONOBIOLOGÍA .....	2
2.2. EL SISTEMA CIRCADIANO .....	3
2.3. RITMOS MARCADORES .....	4
2.4. CRONODISRUPCIÓN .....	6
2.5. CONTAMINACIÓN LUMÍNICA .....	7
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>7</b>
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>8</b>
4.1. SUJETOS EXPERIMENTALES.....	8
4.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL .....	8
4.3. MONITOREO CIRCADIANO AMBULATORIO .....	8
4.3.1. EXPOSICIÓN LUMÍNICA .....	8
4.3.2. TEMPERATURA PERIFÉRICA.....	9
4.3.3. ACTIVIDAD MOTORA Y POSICIÓN CORPORAL.....	9
4.3.4. TAP .....	9
4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	10
4.5. INTERVENCIÓN DE DATOS.....	11
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>14</b>
5.1. REGISTRO REPRESENTATIVO .....	14
5.2. ANÁLISIS DEL CONJUNTO DE LA MUESTRA .....	16
5.2.1. TEMPERATURA PERIFÉRICA.....	17
5.2.2. ACTIVIDAD MOTORA .....	18
5.2.3. POSICIÓN CORPORAL .....	19
5.2.4. SUEÑO.....	20
5.2.5. LUZ .....	21
5.2.6. TAP.....	22
<b>6. DISCUSIÓN</b> .....	<b>23</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	<b>25</b>
7.1. CONCLUSIÓN GENERAL.....	25
<b>8. REFERENCIAS</b> .....	<b>26</b>

## 1. ABSTRACT

Until the development of artificial light sources, life evolved under a cyclic environment where the sun was the main source of light. Thus, living organisms developed endogenous timing mechanisms to orchestrate temporal coordination of their physiology with their environment, a task performed by the circadian system (CS). Nocturnal blue light exposure, the most efficient to suppress melatonin secretion is currently increasing because the proliferation of energy-efficient lighting (LEDs) as well as a wide spread of electronics devices with screens, contributing to the disorganization of our circadian system (chronodisruption). Thus, the main objective of this study was to analyze the influence of nocturnal blue light exposure from electronic devices on circadian system health evaluated by circadian ambulatory monitoring (CAM).

To this, 12 healthy young subjects were recruited and their light exposure, skin wrist temperature, activity and body position rhythms were recorded, while maintaining their habitual nocturnal use of electronic devices (during 7 days) and after 3 days of avoiding this use during that period. CAM was performed with 3 data loggers: Ibutton (ThermoChron®, IDC S.A., Spain), Hobo (HOBO® Pendant Temperature/Light) and Hobo (Hobo® Pendant G Acceleration Data Logger).

This novel pilot study demonstrated that avoiding light-emitting diodes backlit screen exposure phase advances the sleep wake pattern, and increases the Circadian Function Index (CFI) for skin temperature, activity, body position and composite TAP variable patterns, indicating an augmentation in circadian robustness.

In conclusion, the results show a clear improvement in the biological variables analyzed during the intervention phase restricting electronic devices use during the night period, evidencing their cronodisruptive effects.

## 2. INTRODUCCIÓN

El mundo en el que vivimos está en continuo cambio desde sus orígenes en los cuales existía un panorama rítmico predecible (Rol et al. 2011), pero lo cierto es que los cambios más notables durante el transcurso de los días son los provocados por el ser humano. Con esto quiero hacer referencia a dichos cambios provocados por la contaminación lumínica, los cuales perjudican cada vez más por grandes fuentes como la iluminación eléctrica en sus distintas variantes. Esta iluminación es la que repercute en problemas en la salud humana, ya que nuestros ritmos diarios están ligados y sincronizados a la fase luz-oscuridad, interviniendo en la secreción hormonal, el ciclo vigilia-sueño y la temperatura corporal entre otros. Esto puede llegar a ocasionar multitud de alteraciones y problemas de salud tanto en humanos como en otros seres vivos, como desfases y alteraciones de sueño en humanos, alteración de la reproducción y migración de animales, alteración en el crecimiento de las plantas..., aunque hay muchos más, y los que quedan por evidenciar, ya que la manipulación de nuestro reloj biológico provoca un desajuste con perjudiciales consecuencias para la salud.

Nuestro mundo y especialmente la sociedad moderna está avanzando hacia un incontrolado aumento de la iluminación y uso de aparatos electrónicos en nuestra vida cotidiana, forzando la mayor recepción de luz artificial en cantidades y períodos donde no es adecuada, lo que resulta perjudicial para nuestra salud. En esto se centra este trabajo de investigación, en comprobar cómo influye esta convivencia con la iluminación nocturna y la utilización nocturna de aparatos electrónicos en la salud de los jóvenes, los cuales cada vez más unen su vida a una fuente luminosa como teléfono móvil, ordenador, televisión...sobre todo durante la noche, sin saber las repercusiones que puede tener sobre su salud.

### 2.1. CRONOBIOLOGÍA

Esta ciencia se sitúa dentro del campo de la Fisiología, la cual estudia las funciones de los seres vivos. La Cronobiología estudia concretamente los ritmos biológicos, el sistema circadiano y sus efectos sobre la fisiología de los seres vivos. Es decir, “estudia los cambios rítmicos que se producen en los seres vivos en sus distintos niveles de organización” (Madrid & Rol 2006); además de las alteraciones (Morgan & Clarke 1997; Reiter et al. 2007), la evaluación (Van Someren et al. 1999) y los tratamientos que restauran la organización temporal de los seres vivos (Pauley 2004). El comienzo de esta ciencia partió de la observación de los ritmos periódicos del movimiento foliar de algunas plantas (*Mimosa pudica*), lo que dio paso a los primeros estudios de Cronobiología (Kuhlman et al. 2007), llegando a ser una ciencia como tal e introducida en España en los años 80. Por lo tanto se trata de una ciencia joven, que en con el paso de los años abarca más disciplinas que la propia Fisiología, como son Medicina, Biología Molecular, Zoología, Ecología... Esto es debido a la gran influencia y repercusión que tiene esta ciencia sobre los seres vivos, y más concretamente, sobre los seres humanos.

## 2.2. EL SISTEMA CIRCADIANO

Se entiende por sistema circadiano al conjunto de elementos y estructuras que controlan los ritmos biológicos, sincronizando así el funcionamiento del propio reloj biológico con el resto del organismo y con el medio ambiente. Dentro de esta sincronización, cumple un papel fundamental las fases de luz y oscuridad para la regulación de los ritmos circadianos (periodo de alrededor de un día). Por lo tanto, se puede decir que el reloj biológico es un mecanismo usado por el propio organismo para medir el paso del tiempo (Cardinalli 1992).

El sistema circadiano nos permite establecer una organización temporal, acreditando que las respuestas fisiológicas de nuestro organismo, como las actividades y la conducta tengan lugar en el momento oportuno. Un símil a este fenómeno podría ser el que representa la actuación de un director de orquesta dirigiendo y asegurando que cada "proceso fisiológico" suene en su momento preciso del ciclo. (Cambras 2006). Para ello, el sistema circadiano está compuesto por:

- **Vías de entrada:** envían la información sincronizadora del medio al marcapasos central. De entre todos los sincronizadores, el de mayor importancia es la exposición diaria a la luz ambiental, cuyas características más importantes son la intensidad, espectro, horario de exposición y duración. Cada día con el ciclo luz-oscuridad y en condiciones naturales, el NSQ se reajusta gracias a la información lumínica recibida por la retina, a través de un subgrupo de células ganglionares fotosensibles portadoras de melanopsina (fotopigmento especialmente sensible a la luz azul), y posteriormente es transportada a los NSQ por la vía aferente más importante del marcapasos central, el tracto retino-hipotalámico. A parte hay señales no luminosas que sincronizan los NSQ, como los hábitos de alimentación, el contacto social, ruido, actividad, humedad y temperatura ambiental.
- **Marcapasos central:** se trata de la maquinaria interna que dirige los ritmos biológicos. En mamíferos está situado en los Núcleos SupraQuiasmáticos del hipotálamo (NSQ) y ayudado por una red de osciladores circadianos subordinados, tanto centrales (en cerebro), como periféricos (hígado, riñón, corazón...) (Yamazaki *et al.* 2000). La generación de los ritmos circadianos por los NSQ mediante la organización de la expresión rítmica de cada neurona individual con su propio periodo, funcionando así como un único reloj (Madrid y Rol 2006).

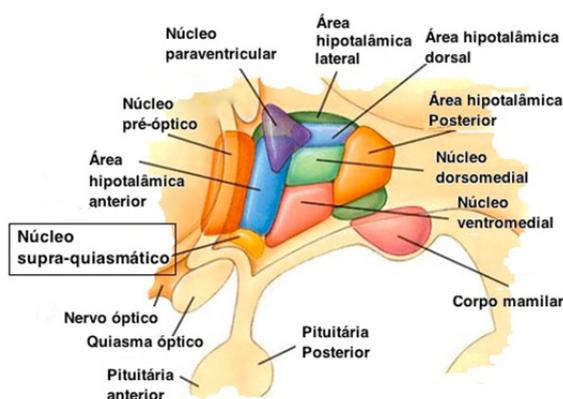


Figura 1. Localización de los NSQ en el hipotálamo (sección del hemisferio derecho. Extraída de [www.medicinageriatria.com.br](http://www.medicinageriatria.com.br)

- **Vías de salida:** son las salidas procedentes del marcapasos central hacia órganos efectores que producirán los ritmos manifiestos, a través del sistema nervioso autónomo y mediadores humorales, de entre las que cabe destacar la melatonina, hormona producida por la glándula pineal (Reiter *et al.* 2007). Esta glándula supeditada a los NSQ produce melatonina durante la noche (siendo necesaria la ausencia de luz), aportando información ambiental al propio sistema circadiano tanto diaria (con la secreción o no de melatonina) como anual (cuanto más largas son las noches, mayor número de horas permanece elevada la hormona). Existen receptores para esta hormona en los NSQ desde donde se sincronizan los ritmos nocturnos y se transmite el mensaje temporal al resto del organismo, por lo cual se puede decir que es la hormona de la noche ya que solo se produce durante el período de oscuridad y es inhibida por la luz, por lo que a partir de ella podemos medir la llegada y la duración química de la noche.

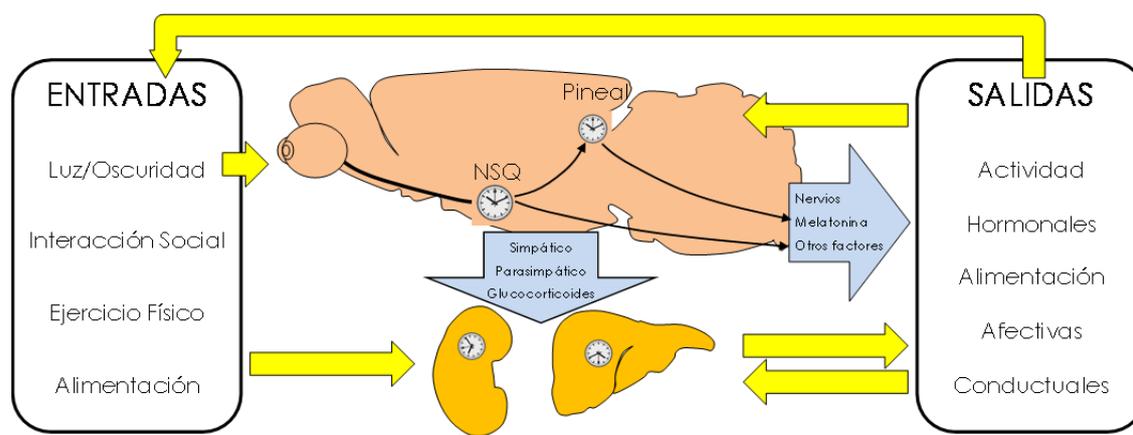


Figura 2. Estructura del sistema circadiano en mamíferos. Extraída de Lucas-Sánchez *et al.* 2002.

### 2.3. RITMOS MARCADORES

Los ritmos marcadores son la variación u oscilación regular y temporal de una función biológica (Cardinalli 1992). Como todos los ritmos biológicos los ritmos marcadores son endógenos, permaneciendo en ausencia de señales externas del medio ambiente. La segunda propiedad es su capacidad de sincronización, esto se ve por ejemplo en una situación en ausencia de señales externas del medio, cuando nuestro período no es exactamente de 24 horas, si no que pasa a ser ligeramente mayor (aproximadamente 24,5 horas), correspondiéndose a un período diferente regulado por nuestro reloj endógeno que pone en hora nuestro organismo para adaptarse al período del medio externo estableciendo una relación estable de fase. Es decir, poseemos respuestas y sincronizadores tanto para cambios en el medio interno como en el medio externo. También los ritmos tienen la capacidad de compensar los cambios de temperatura ya que el reloj biológico mantiene una actividad muy parecida a diferentes rangos de temperatura.

Para la correcta observación y estudio de los ritmos marcadores hay que tener en cuenta que deben ser fácilmente medibles, preferentemente mediante técnicas no invasivas y ser el reflejo de la actividad del marcapasos central (Touitou & Haus 1994).

Los parámetros que definen un ritmo biológico son:

Acrofase: momento temporal en el cual la variable observada alcanza su valor máximo a lo largo del período.

Periodo: duración de un ciclo completo, es decir, el intervalo de tiempo transcurrido entre dos sucesos idénticos. En ocasiones puede utilizarse su función inversa, denominada frecuencia.

Mesor: valor medio de la función sinusoidal que mejor se ajusta a la variable.

Amplitud: diferencia entre el mesor y el valor de la acrofase; también puede definirse como la diferencia entre el mesor y el mínimo del ritmo.

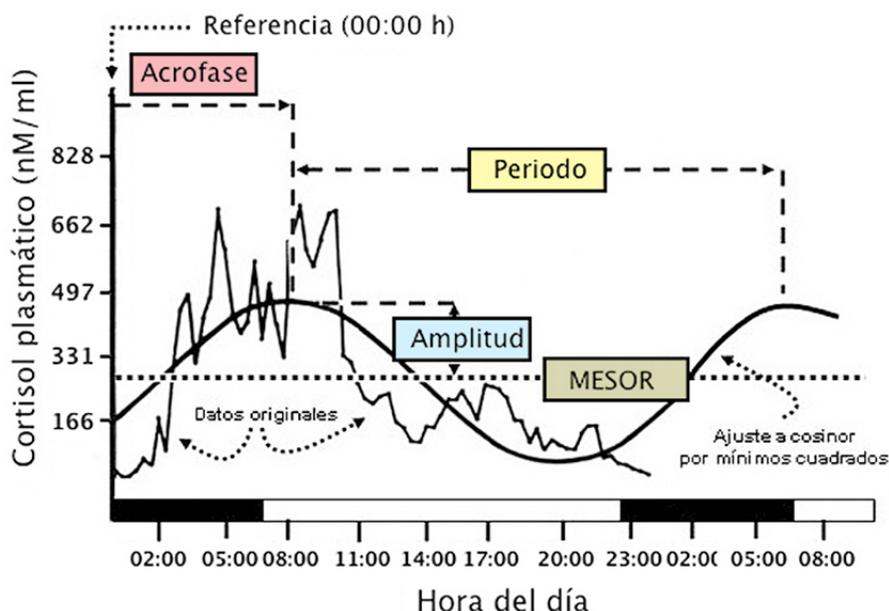


Figura 3. Gráfica de los parámetros que definen un ritmo biológico tomando como ejemplo los niveles de cortisol plasmático. Extraída de <http://ocw.unican.es>.

Los ritmos biológicos se suelen clasificar en función de su frecuencia:

Ultradianos: con una frecuencia superior a un ciclo por día y un período menor de 20 horas. Por ejemplo la liberación pulsátil de hormonas o el sueño REM-noREM.

Circadianos: con una frecuencia aproximada de un ciclo por día y por lo tanto un período entre 20 y 28 horas, correspondiente a la duración de un día solar, como son el ciclo sueño-vigilia o el ritmo de temperatura periférica.

Infradianos: con frecuencia inferior a un ciclo por día y un período mayor de 28 horas. Por ejemplo los ritmos migratorios y la reproducción estacional.

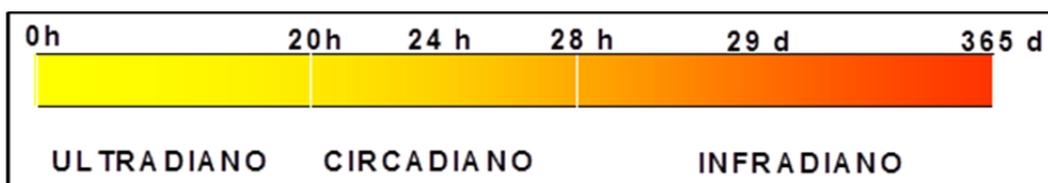


Figura 4. Clasificación de ritmos biológicos en función de su período. Extraída de Madrid 2006.

Existe la posibilidad de que el orden temporal interno se desajuste, provocando una alteración de la organización circadiana entre dos o más variables rítmicas, denominada desincronización (Madrid y Rol 2006). Existen dos causas principalmente:

Internas: las producidas a partir del proceso normal de envejecimiento o de alteraciones patológicas crónicas (Cardinalli 1992).

Externas: son las derivadas a alteraciones exógenas en los ritmos debido a cambios considerables en el medio externo, como pueden ser los vuelos transmeridianos y los turnos de trabajo nocturnos o rotativos (Cardinalli 1992).

Posteriormente si esta desincronización permanece acaba ocasionando una pérdida de la relación entre los ritmos, se produce entonces el fenómeno de la cronodisrupción.

## 2.4. CRONODISRUPCIÓN

Se produce debido a la alteración o desincronización del orden temporal interno ya sea del propio marcapasos central o entre el sistema circadiano y los ritmos marcadores o los sincronizadores. La desorganización temporal interna de nuestro sistema circadiano produce efectos perjudiciales para la salud y puede ocasionarse por varias causas, como insuficiencia de luz durante la fase diurna, exceso de iluminación brillante durante la fase nocturna, malos hábitos horarios y alimenticios, sedentarismo...entre otros.

En los humanos, y más en las sociedades modernas, existe un continuo crecimiento hacia estas malas prácticas, con el aumento del trabajo nocturno, los vuelos transmeridianos, el desplazamiento de los hábitos de ocio hasta la fase nocturna, la reducción del tiempo mínimo de sueño necesario para una persona, que ha pasado de 9 horas al inicio del siglo XX hasta las 7 horas actuales, y sobre todo, la excesiva iluminación artificial y brillante que está presente ya en casi todos los lugares. Existen estudios epidemiológicos con asociaciones estadísticamente significativas entre la cronodisrupción y el aumento de la frecuencia de enfermedades cardiovasculares, el envejecimiento prematuro, los trastornos cognitivos y afectivos, el síndrome metabólico, alteraciones de sueño y también casos de cáncer a medio-largo plazo (Rol *et al.* 2011). En la actualidad, y cada vez más, aparecen casos en los que se asocia de forma muy ligada la cronodisrupción y la exposición a luz brillante durante la noche con distintas variantes de cáncer tales como el colorrectal, de próstata y de mama (Straif *et al.* 2007). Además se destaca el trabajo a turnos como una actividad posiblemente carcinógena para los seres humanos (Rol *et al.* 2011, Straif *et al.* 2007). Esta alteración afecta principalmente a la melatonina, hormona oncostática, que reduce el daño oxidativo que provocan los radicales libres, y el deterioro de las células asociado al envejecimiento.

## 2.5. CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

El concepto de contaminación lumínica es un problema que avanza de la mano de las sociedades modernas por el abuso incontrolado de la iluminación artificial. Desde la aparición de los dispositivos electrónicos en nuestro estilo de vida, y más concretamente de la iluminación de tipo LED (Light-Emitting Diode), ha aumentado la iluminación nocturna que reciben las personas, lo que provoca la inhibición de la secreción de melatonina. Estos dispositivos LED son diodos que emiten gran cantidad de luz azul y están presentes en todos los hogares, oficinas, hospitales..., en forma de teléfonos móviles, ordenadores, tabletas, televisores y más dispositivos electrónicos de la vida actual.

Estos dispositivos tienen su problemática centrada en la noche, donde cada breve pulso de luz actúa sobre la inhibición de melatonina, ya que las células ganglionares son más sensibles a la luz con longitud de onda corta, como ocurre con la luz azul. A mayor tiempo de exposición nocturna a este tipo de luz, mayor será la probabilidad de alterar el ritmo de melatonina. Este problema no solo afecta al tiempo de uso de estos dispositivos antes de ir a dormir, sino también el hecho de que estén presentes cerca de nuestro sitio de descanso, tanto por el mero hecho de que estemos recibiendo luz azul durante el sueño, como por la perturbación provocada en los despertares nocturnos cuando tendemos a hacer uso de la luz, interrumpiendo así la secreción normal de la melatonina.

## 3. OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo ha sido la evaluación del patrón circadiano de exposición a la luz, temperatura periférica, actividad motora y posición corporal en los jóvenes estudiantes de la Universidad de Murcia y la influencia sobre estos ritmos y la salud del sistema circadiano de la utilización de dispositivos electrónicos durante el período de oscuridad.

### 3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la posible influencia de la luz azul en la supresión de melatonina y su consiguiente repercusión en la salud circadiana mediante monitorización circadiana ambulatoria.
- Observar los posibles desfases de sueño de los individuos jóvenes debidos a la posible influencia de la luz azul nocturna que proviene de las pantallas electrónicas.

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. SUJETOS EXPERIMENTALES

Para la realización de este experimento se reclutaron 12 voluntarios sanos de ambos sexos (9 hombres y 3 mujeres), con edades entre los 18 y 29 años de edad y todos ellos pertenecientes a la Universidad de Murcia. Todos y cada uno de ellos fueron informados del objetivo y características del experimento, permitiendo que se le tomaran los datos de luz, temperatura, actividad y posición durante un período de 10 días, aceptando la colaboración en el mismo firmando su consentimiento escrito.

Este estudio respeta los derechos bioéticos de cada uno de los sujetos por lo que todos los datos recogidos han sido almacenados en una base de datos y asociándoles un número identificador para el tratamiento de datos cronobiológicos, protegiéndose de acuerdo con la ley española 15/1999 del 13 de septiembre.

### 4.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL

La zona de estudio donde se encuentran los voluntarios seleccionados para el estudio se localiza en la ciudad de Murcia (España), donde estos residen. Además, la mayor parte del día se encuentran en la Universidad de Murcia (38° 01'N y 1° 09'O).

La recogida de datos se realizó entre la semana final de abril y principios de mayo, con una temperatura ambiental media de  $20.0 \pm 0.6$  °C ([www.eltiempo24.es](http://www.eltiempo24.es)).

### 4.3. MONITOREO CIRCADIANO AMBULATORIO

#### 4.3.1. EXPOSICIÓN LUMÍNICA

La luz que recibieron los sujetos se midió mediante el sensor de HOBO® Pendant Temperature/Light Data Logger (Onset Computer Corporation©) (figura 6). Este sensor de pequeño tamaño (58 x 33 x 23 milímetros) se colocó colgado del cuello a modo de collar y sobre la ropa, que mantenía la parte fotosensible (marcada con una flecha) del sensor orientada hacia el frente del individuo. Está protegido con una funda plástica hermética resistente al agua y presenta dos canales de medición con 10-bit de resolución. El rango de intensidad luminosa que medía el sensor comprendía desde los 0 a los 320000 lux (Martínez-Nicolás *et al.* 2011). El intervalo de muestreo utilizado fue de 30 segundos.



Figura 5. Diseño del luxómetro. La flecha indica el fotosensor.

### 4.3.2. TEMPERATURA PERIFÉRICA

La toma de datos de temperatura periférica de los sujetos se tomaron mediante la utilización de un sensor de temperatura Ibutton (figura 7), modelo DS1921H#F50 (ThermoChron®, Data loggers I-button, IDC S.A., España) colocado sobre la arteria radial, a la altura de la muñeca de la mano no dominante con la ayuda de una muñequera. Para evitar el posible error por la mayor actividad de la mano dominante se colocó sobre la mano no dominante. El sensor quedaba dentro de una muñequera deportiva de algodón para estar en contacto con la piel y evitar la interferencia del medio ambiente (Sarabia *et al.*, 2008). El sensor incluye en su registro un rango de temperaturas entre 15 °C y 45 °C con una precisión de 0,125 °C, con un intervalo de muestreo configurado cada 10 minutos.

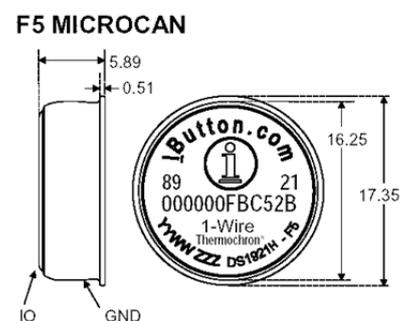


Figura 6. Diseño del sensor Ibutton con sus respectivas medidas en

### 4.3.3. ACTIVIDAD MOTORA Y POSICIÓN CORPORAL

Para la medición de actividad y posición, los sujetos llevaron un sensor de actividad motora (Hobo® Pendant G Acceleration Data Logger) en la parte superior del brazo no dominante con la ayuda de un brazalete. Este sensor es un acelerómetro de 3 ejes con un rango de medida de  $\pm 3$  g y proporciona información sobre la posición de los ejes X, Y y Z. A partir de estos datos se definieron dos parámetros: posición corporal y actividad motora. Los valores de la posición del cuerpo se definen con respecto al eje X y oscilan entre 0 y 90°, representando 0° la horizontalidad y 90° la máxima verticalidad. La actividad motora se define como el número de grados de cambio de posición del sensor de actividad con respecto al momento previo (Ortiz-Tudela *et al.*, 2010). Para este estudio la frecuencia de muestreo elegida fue de 30 segundos. Durante el periodo de registro los individuos podían quitarse el brazalete solamente para el aseo personal.



Figura 7. Diseño del sensor de actividad motora.

### 4.3.4. TAP

Se trata de un índice compuesto por las variables de Temperatura, Actividad y Posición. Es el resultado de la integración de tres señales rítmicas complementarias: temperatura de la piel, actividad motora y posición del cuerpo. Mediante TAP es posible evaluar el funcionamiento del sistema circadiano humano.

#### 4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Una vez comentadas las variables a analizar en el trabajo y teniendo en cuenta que para una correcta medición se ha de utilizar técnicas cómodas, no invasivas, y capaces de recaudar grandes registros de datos (Lucas-Sánchez *et al.* 2012). Procedemos así a diseñar un proceso de recogida de datos que consta de dos fases distintivas de recogida de datos, la primera se trata de una fase control (29/04/2014 – 06/05/2014) en la que se pedía a los sujetos que llevasen un estilo de vida normal para cada uno de ellos durante el período de una semana, y una segunda fase de intervención (13/05/2014 – 16/05/2014) en la que a los sujetos se les pedía encarecidamente que redujesen el uso de dispositivos electrónicos, especialmente durante la noche, donde debían dejar de utilizar y apagar sus dispositivos electrónicos dos o tres horas antes de ir a dormir. Se decidió realizar solo tres días en la fase de intervención debido a que al exigir a los sujetos la disminución o ausencia de dispositivos electrónicos durante una semana no se podía acreditar una obtención de datos que asegurase dichas condiciones, dado que los individuos necesitan estos dispositivos para ciertas labores. En total se monitorizarán diez días en dos fases para la consecuente comparación entre la fase control y la de intervención.

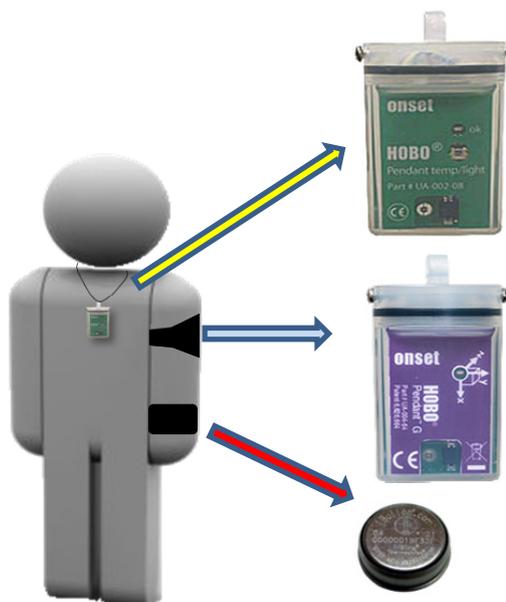


Figura 8. Vista previa de los elementos utilizados en la recogida de datos para analizar las variables de exposición luminica, actividad motora, posición corporal y temperatura periférica. Modificada de Martínez-Nicolás *et al.* 2011.

## 4.5. INTERVENCIÓN DE DATOS

- **Descarga**

Una vez que los sensores recogieron diez días de registro en total, se procedió a su descarga. Los sensores de actividad motora y posición, y el luxómetro cuentan con una interfaz de conexión USB y una Estación Base USB Óptica (MAN-BASE-U-4, HOB0; Onset Computer) con su software específico HOB0ware 2.2, que permite la descarga de datos de los sensores al ordenador en forma de ficheros de texto, un documento de texto para luz y otro documento de texto para la actividad motora y posición corporal.

En cuanto a los datos almacenados en el sensor de temperatura periférica, se descargaron con la ayuda de un adaptador USB para el sensor Ibutton© utilizando el software Ibutton Viewer v.3.22© 1992-2005 Dallas Semiconductor MAXIM proporcionado por el fabricante, que descargaba los datos de temperatura periférica para cada individuo en formato de documento de texto.

- **Filtrado**

Seguido a la descarga de datos, se procesan los datos para eliminar medidas erróneas, como las ocasionadas por la retirada temporal de los sensores. Se utilizó para ello el software Crimson Editor SVN263. Seguidamente estos documentos de texto se insertan en una plataforma de análisis de datos cronobiológicos (<https://www.kronowizard.um.es/kronowizard>) junto con los datos de cada sujeto, para la realización de los informes individualizados para cada individuo de la población.

- **Tratamiento**

Una vez obtenidos los informes de la plataforma, se procede a agruparlos en una hoja de cálculo mediante Microsoft Excel 2010. Una vez en la hoja de cálculo se analizaron los datos de las dos fases del estudio. Por una parte se realizó un análisis temporal con las distintas variables circadianas para la consiguiente realización de las ondas medias promedio de la población, y por otra parte, un análisis de los índices no paramétricos promedio.

- **Ondas medias**

Para la realización de las ondas medias, en las que se ha tomado un período de 24 horas como el valor medio registrado a la misma hora cada 10 minutos (de 00:00 a 23:50 horas), para cada variable estudiada, obtenidos a partir de los informes de la plataforma (<https://www.kronowizards.um.es/kronowizard>). Se han obtenido las ondas medias tanto para cada sujeto, como para el promedio de todos los sujetos (n=12) en cada etapa experimental. Una vez procesados los datos de las variables de temperatura periférica, actividad motora, posición corporal, sueño, luz y TAP, se realiza un promedio poblacional, con su desviación estándar y correspondiente error estándar de la media. A continuación, se realiza una representación gráfica de los valores promedio poblacional tanto para la fase control, como para la fase de intervención, mediante gráficos de líneas representando los valores por variable para cada punto horario con su respectivo error.

- **Índices no paramétricos**

Puesto que las ondas medias no poseen un ajuste exacto a una onda sinusoidal y con el fin de obtener el patrón de los ritmos para cada una de las variables estudiadas, realizamos un análisis mediante índices no paramétricos. Este análisis no asume el ajuste de la serie temporal a la función coseno (Van Someren *et al.* 1999).

Los datos han sido obtenidos a partir de los valores procesados para cada uno de los informes, mediante promedio de la población experimental, realizados a través de la plataforma (<https://www.kronowizard.um.es/kronowizard>). A continuación veremos las distintas variables y cómo se calculan:

Estabilidad Interdiaria (IS): cuantifica la estabilidad del ritmo entre los distintos días de registro con independencia de la forma de onda del ritmo, y se calcula según la siguiente expresión:

$$IS = \frac{n \sum_{h=1}^n (\bar{x}_h - \bar{x})^2}{p \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

n: número total de datos

p: número de datos por día

$\bar{x}_h$ : valor medio de ese punto horario

$\bar{x}$ : valor medio del total de datos

$x_i$ : dato individual

Los valores de IS varían entre cero para un ruido gaussiano y uno para estabilidad interdiaria perfecta, lo que sucede cuando la onda se repite exactamente igual cada día.

Variabilidad Intradiaaria (IV): indica la fragmentación del ritmo, y depende de la frecuencia y extensión de transiciones entre los valores altos y los bajos, según la siguiente expresión:

$$IV = \frac{n \sum_{i=2}^n (x_i - x_{i-1})^2}{(n - 1) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

n: número total de datos

$\bar{x}$ : valor medio del total de datos

$x_i$ : dato individual

$x_{i-1}$ : dato anterior a  $x_i$

Los valores de IV alcanzan valores cercanos a cero cuando se trata de una onda sinusoidal perfecta y llegan en torno a dos para el caso de un ruido gaussiano. Puede tomar un valor si aparece un componente ultradiano, definido con un período de 2 horas.

Amplitud Relativa (RA): en principio este índice se desarrolló para el análisis de la actividad motora y hace referencia a la diferencia entre el máximo y el mínimo del ritmo. Oscila entre cero, para la menor amplitud, y uno para la amplitud máxima.

$$RA = \frac{M10 - L5}{M10 + L5}$$

M10: media de 10 horas consecutivas de valores más altos

L5: media de 5 horas consecutivas de valores más bajos

Sin embargo, el ritmo circadiano de TDP y el de sueño es exactamente el opuesto al de actividad, de modo que la fórmula utilizada queda de la siguiente manera:

$$RA = \frac{L10 - M5}{L10 + M5}$$

L10: media de 10 horas consecutivas de valores más bajos

M5: media de 5 horas consecutivas de valores más altos

Índice de Funcionamiento Circadiano (CFI): proporciona la herramienta que se necesita para evaluar y estandarizar el estado funcional del sistema circadiano. Es decir, indica la robustez del sistema circadiano, según la siguiente expresión:

$$CFI = \frac{IS + RA + \frac{2-IV}{2}}{3}$$

El CFI oscila entre cero, ausencia de ritmo circadiano, y uno, ritmo circadiano robusto. Por lo tanto, a mayor valor de CFI se considera un mejor y más robusto ritmo circadiano.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. REGISTRO REPRESENTATIVO

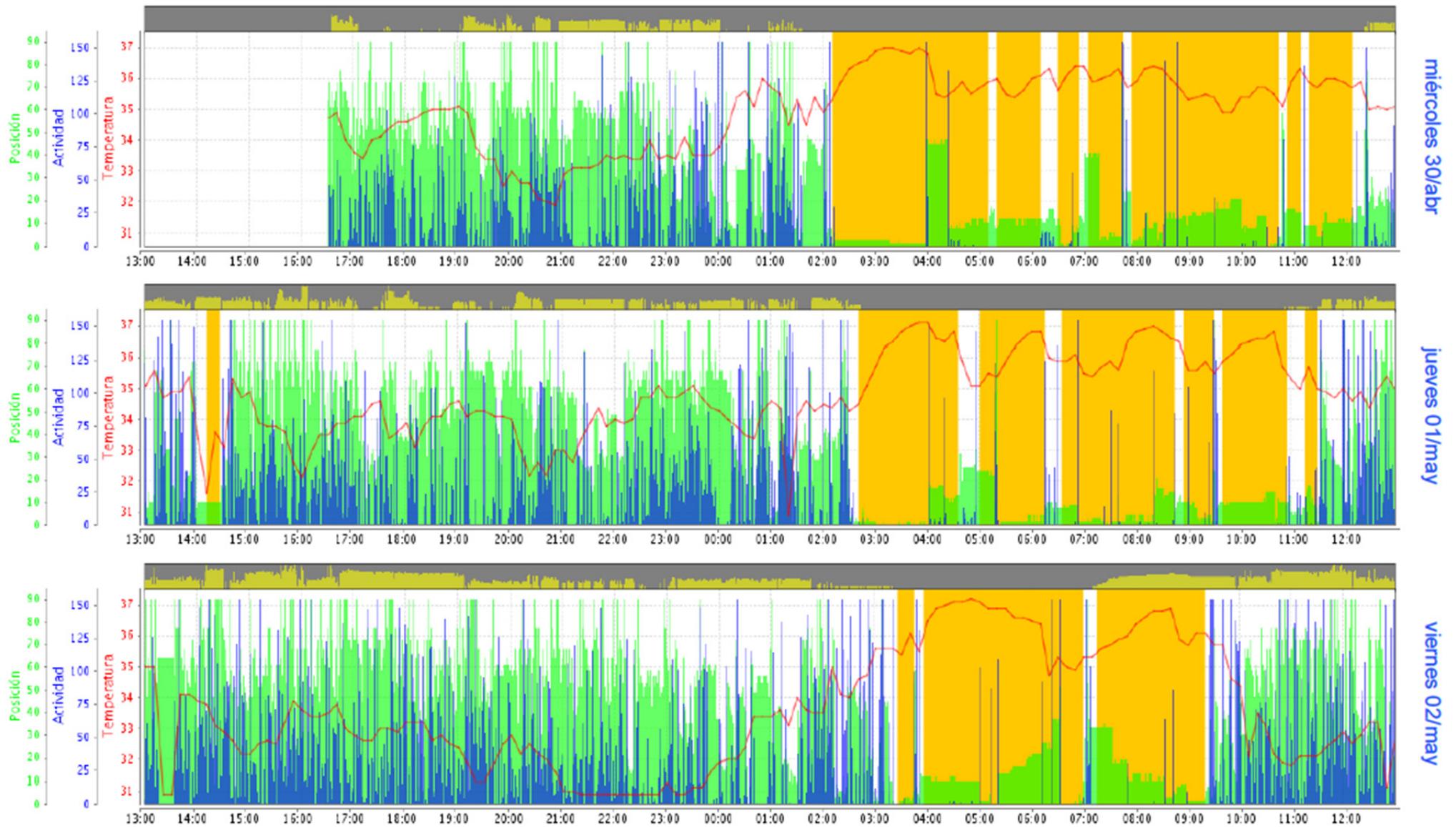
Con la utilización de la plataforma del grupo de cronobiología de la Universidad de Murcia, Kronowizard, (<https://kronowizard.um.es/kronowizard>), se ha podido obtener informes del estado del sistema circadiano y sueño para cada sujeto analizado, tanto para la semana de control, como para los tres días de intervención. Esta herramienta permite observar los ritmos circadianos de cada individuo teniendo en cuenta tanto variables de temperatura periférica, sueño, luz, y actividad física y mental.

A continuación, adjunto una gráfica obtenida a partir de dicha plataforma donde se representa un registro de temperatura, actividad, posición y luz durante la fase de control para un sujeto representativo (figura 10). En dicha figura podemos observar los distintos ritmos de las variables a lo largo tanto del día como de la noche.

En el eje vertical, queda representada la actividad motora en columnas de color azul, la posición corporal en color verde, la temperatura periférica en una línea de color rojo, el sueño o somnolencia en bandas de color amarillo intenso, y el sueño en la parte superior de la gráfica en pequeñas columnas de color amarillo. En el eje horizontal se mantienen los valores temporales correspondientes a 24 horas.

Un aspecto llamativo observado en la representación gráfica es la variación de temperatura periférica entre el día (valores más bajos) y la noche (valores más altos), con el rasgo representativo de que la temperatura periférica por la noche posee cambios ligeramente bruscos para cada despertar nocturno.

## Efecto de los dispositivos electrónicos en el sistema circadiano humano



15

Figura 9. Registro de temperatura, actividad, posición y luz. Monitoreo durante una semana (29/04/2014 – 06/05/2014). Tomando como ejemplo tres días ejemplares.

## 5.2. ANÁLISIS DEL CONJUNTO DE LA MUESTRA

A continuación se hará una comparativa entre las variables estudiadas comentando las diferencias entre las dos fases monitorizadas, la fase de control y la fase de intervención. Para ello se utilizarán las gráficas de las ondas medias para cada variable estudiada y las tablas de índices no paramétricos analizados, que recogen los datos promedios obtenidos tanto para la fase de control como para la fase de intervención.

Dentro de las tablas de índices no paramétricos se ha incluido un análisis mediante una prueba t de Student, ya que la población sigue una distribución normal y no tiene un tamaño muestral demasiado grande. De este análisis obtenemos un valor de significación  $p$  que puede ser clasificado o no en función de su resultado en tres categorías ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$  y  $p < 0,05$ ) para posteriormente comentar su significación estadística.

Debemos tener en cuenta que en cuanto al índice de estabilidad interdiaria, aunque aparezcan valores significativos no se puede establecer una comparativa real ya que son períodos de registro de diferente duración, y esta variable se ve afectada por el número de días a analizar.

### 5.2.1. TEMPERATURA PERIFÉRICA

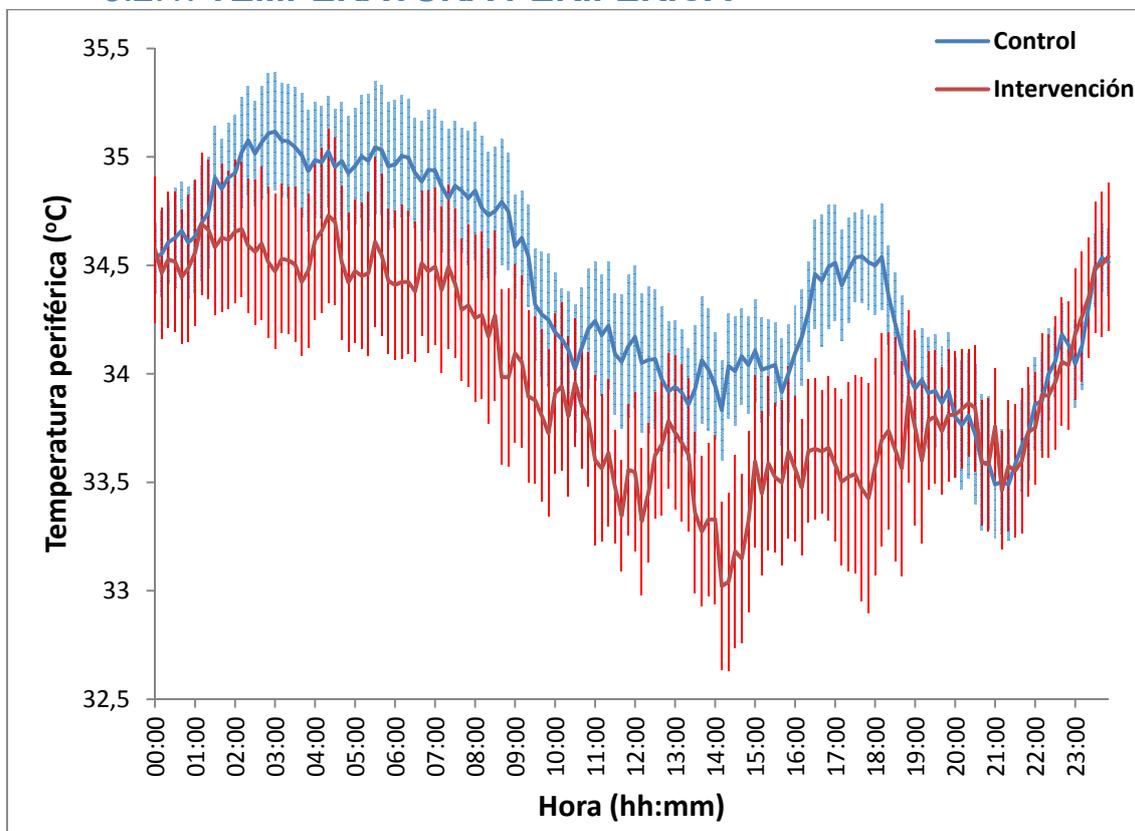


Figura 10. Ondas medias promedio de la población para la temperatura periférica en las dos fases de monitoreo.

TEMP.	IS	IV	AR	CFI	M5H	M5V	L10H	L10V
<b>Control</b>	0,29 ± 0,05	0,24 ± 0,03	0,02 ± 0,00	0,4 ± 0,02	04:06 ± 00:25	35,1 ± 0,24	17:38 ± 00:33	33,9 ± 0,22
<b>Intervención</b>	0,49 ± 0,08	0,24 ± 0,04	0,02 ± 0,00	0,46 ± 0,03	03:15 ± 00:46	34,75 ± 0,33	14:40 ± 00:54	33,47 ± 0,3
<b>p</b>	<b>&lt;0,01</b>	0,950	0,560	<b>&lt;0,001</b>	0,600	0,250	<b>&lt;0,05</b>	0,120

Figura 11. Índices no paramétricos de la población para la temperatura periférica durante un período de diez días.

En la representación de la onda media promedio para la temperatura periférica se puede observar un considerable descenso de la temperatura para la fase de intervención respecto a la fase control.

De los índices no paramétricos se obtiene que el valor de CFI es muy significativo e indica un aumento de la robustez de los ritmos circadianos en la fase de intervención. Además los sujetos experimentaron un adelanto de fase al reducir o evitar el uso de los dispositivos electrónicos (ver L10H en figura 12)

## 5.2.2. ACTIVIDAD MOTORA

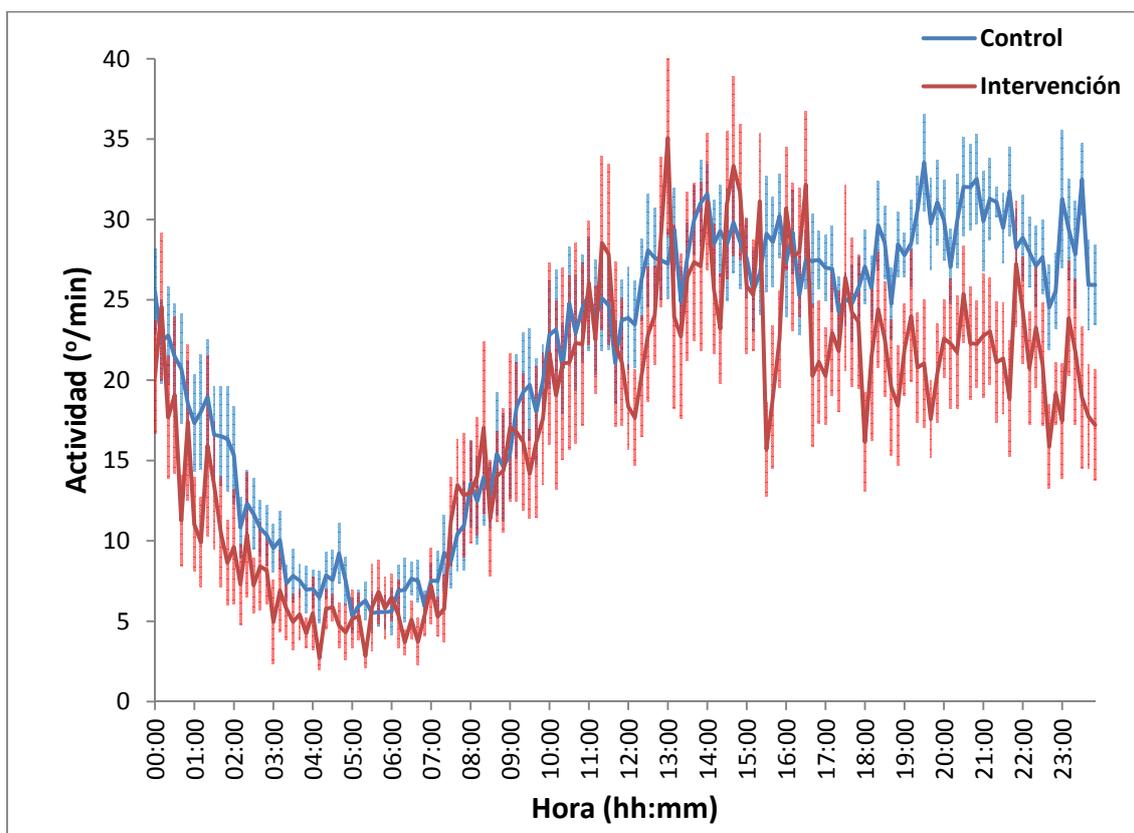


Figura 12. Ondas medias promedio de la población para la actividad motora en las dos fases de monitoreo.

ACTIVIDAD	IS	IV	AR	CFI	M10H	M10V	L5H	L5V
<b>Control</b>	0,2 ± 0,01	1,12 ± 0,04	0,66 ± 0,03	0,43 ± 0,01	17:31 ± 00:37	29,41 ± 1,46	05:33 ± 00:35	6,02 ± 0,62
<b>Intervención</b>	0,49 ± 0,04	1,09 ± 0,04	0,74 ± 0,02	0,56 ± 0,01	16:28 ± 00:33	25,95 ± 2,24	04:52 ± 00:35	3,78 ± 0,5
<b>p</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,340	<b>&lt;0,05</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,080	0,060	0,270	<b>&lt;0,05</b>

Figura 13. Índices no paramétricos de la población para la actividad motora durante un período de diez días.

La onda media promedio de la actividad motora de los sujetos muestra una tendencia similar entre los valores de la fase de control y fase de intervención, exceptuando las horas nocturnas de antes de ir a dormir, donde se observa una menor actividad debido probablemente a una mayor somnolencia en el grupo sin dispositivos electrónicos. Durante la fase de intervención hubo un aumento de la AR y del CFI, junto a valores más bajos de actividad durante el período nocturno (ver L5V en figura 14), lo que indica una mayor robustez en el ritmo de actividad. Existe además una tendencia no significativa a un adelanto de fase en el período de intervención, como puede verse en M10H (figura 14).

### 5.2.3. POSICIÓN CORPORAL

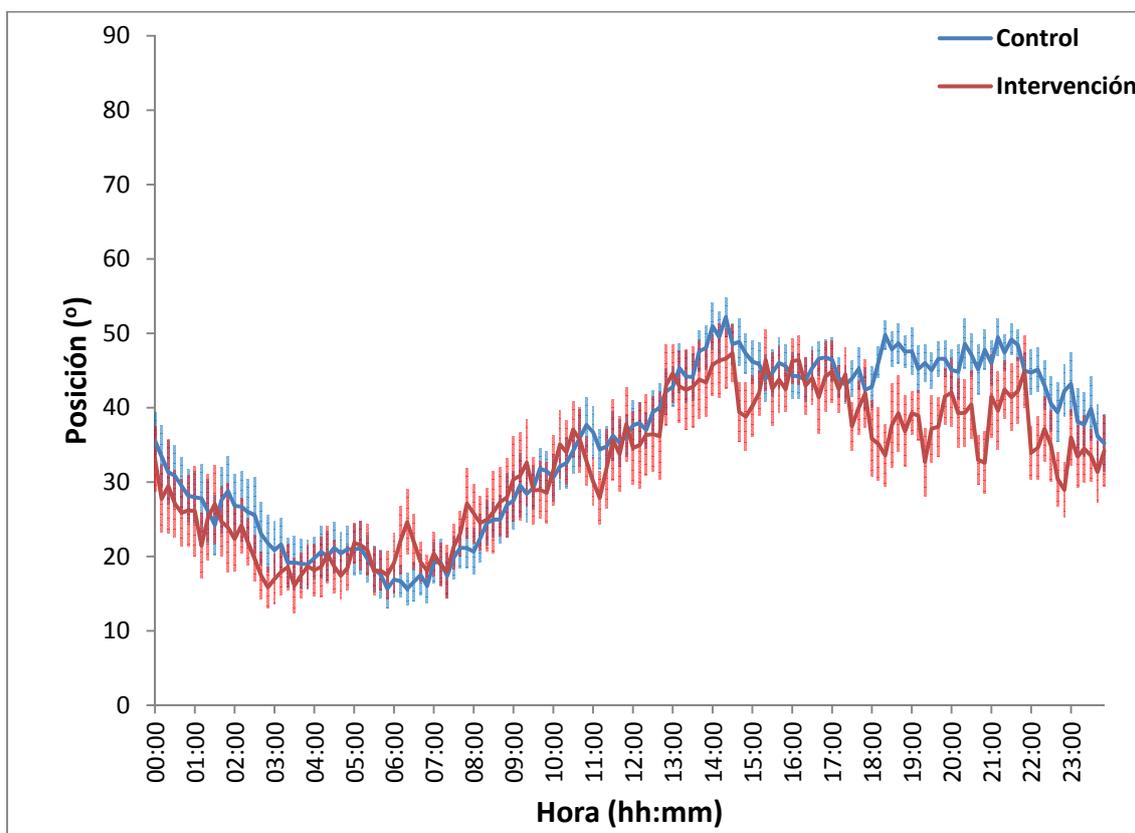


Figura 14. Ondas medias promedio de la población para la posición corporal en las dos fases de monitoreo.

POSICIÓN	IS	IV	AR	CFI	M10H	M10V	L5H	L5V
<b>Control</b>	0,34 ± 0,03	0,41 ± 0,02	0,48 ± 0,04	0,54 ± 0,03	17:51 ± 00:41	46,78 ± 1,94	05:59 ± 00:38	17,17 ± 2,28
<b>Intervención</b>	0,53 ± 0,06	0,38 ± 0,03	0,44 ± 0,05	0,59 ± 0,03	16:40 ± 00:42	42,32 ± 2,78	04:43 ± 00:32	16,55 ± 1,91
<b>p</b>	<b>&lt;0,01</b>	0,270	0,300	<b>&lt;0,05</b>	0,120	0,110	0,160	0,800

Figura 15. Índices no paramétricos de la población para la posición corporal durante un período de diez días.

En cuanto a la representación gráfica de la onda media de la posición corporal no observamos diferencias significativas entre la fase de control y la de intervención, por lo que es posible que la luz azul no influya en la posición corporal tanto como el resto de variables.

Si existe un aumento del CFI en la fase de intervención (ver figura 16), que significa una mayor robustez del ritmo respecto a una mayor estabilidad interdiaria, una menor variabilidad intradiaria y una mayor amplitud relativa, aunque no sean significativas. En este caso también se puede observar un adelanto de fase tanto en M10H como en L5H (figura 16), aunque no alcanza la significación estadística.

### 5.2.4. SUEÑO

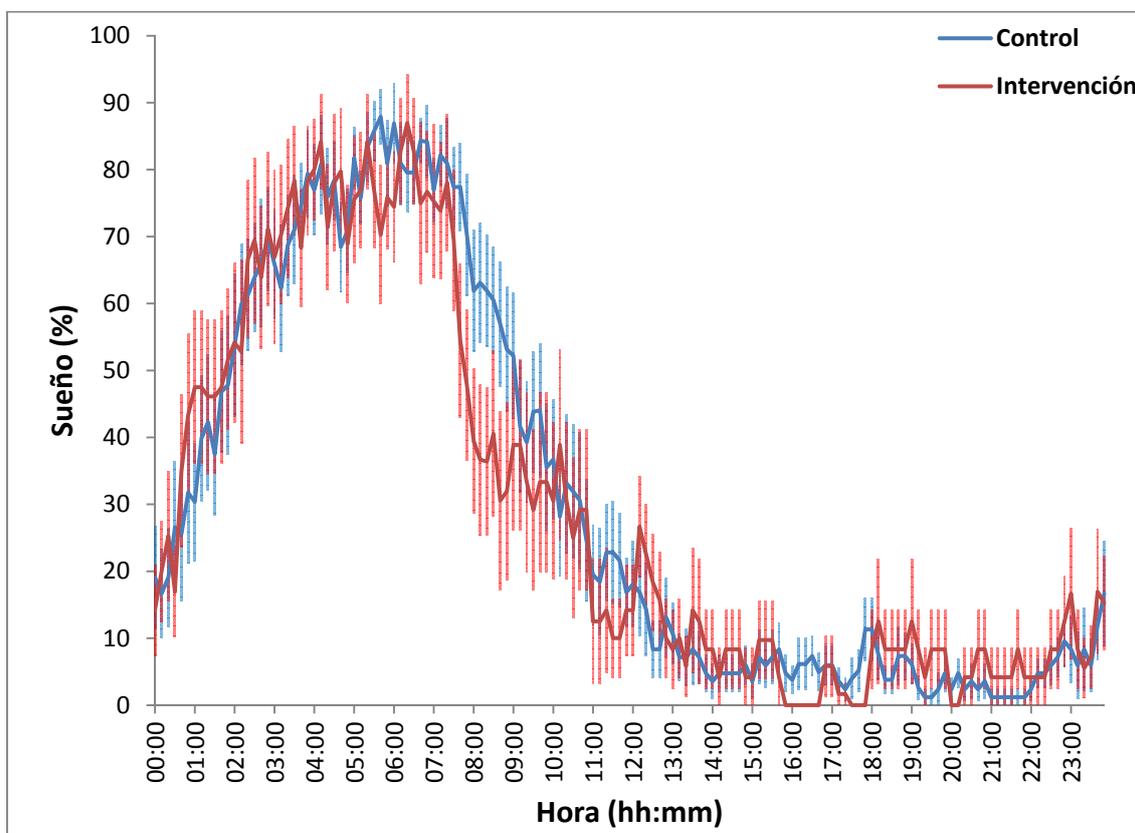


Figura 16. Ondas medias promedio de la población para el sueño en las dos fases de monitoreo.

SUEÑO	IS	IV	AR	CFI	M5H	M5V	L10H	L10V
<b>Control</b>	0,59 ± 0,05	0,34 ± 0,02	0,91 ± 0,03	0,78 ± 0,03	05:44 ± 00:31	0,83 ± 0,03	17:25 ± 00:42	0,04 ± 0,01
<b>Intervención</b>	0,7 ± 0,06	0,37 ± 0,03	0,92 ± 0,03	0,81 ± 0,02	04:50 ± 00:32	0,82 ± 0,06	17:26 ± 00:45	0,04 ± 0,02
<b>p</b>	0,050	0,480	0,970	0,150	0,090	0,880	0,980	0,790

Figura 17. Índices no paramétricos de la población para el sueño durante un período de diez días.

En la onda media del sueño se tomaron valores porcentuales para una mejor representatividad de los datos. Es posible observar un adelanto de fase por parte de los sujetos en la fase de intervención, ya que estos tienden a acostarse y levantarse más temprano. Este hecho favorece el objetivo del estudio puesto que reducir la utilización de dispositivos electrónicos evita retrasos de fase, mejorando así el estado del sistema circadiano. También puede destacar el valor de M5H, que representa la media de las 5 horas de valores más altos, indicando pues el adelanto de fase mencionado anteriormente (ver M5H figura 18).

### 5.2.5. LUZ

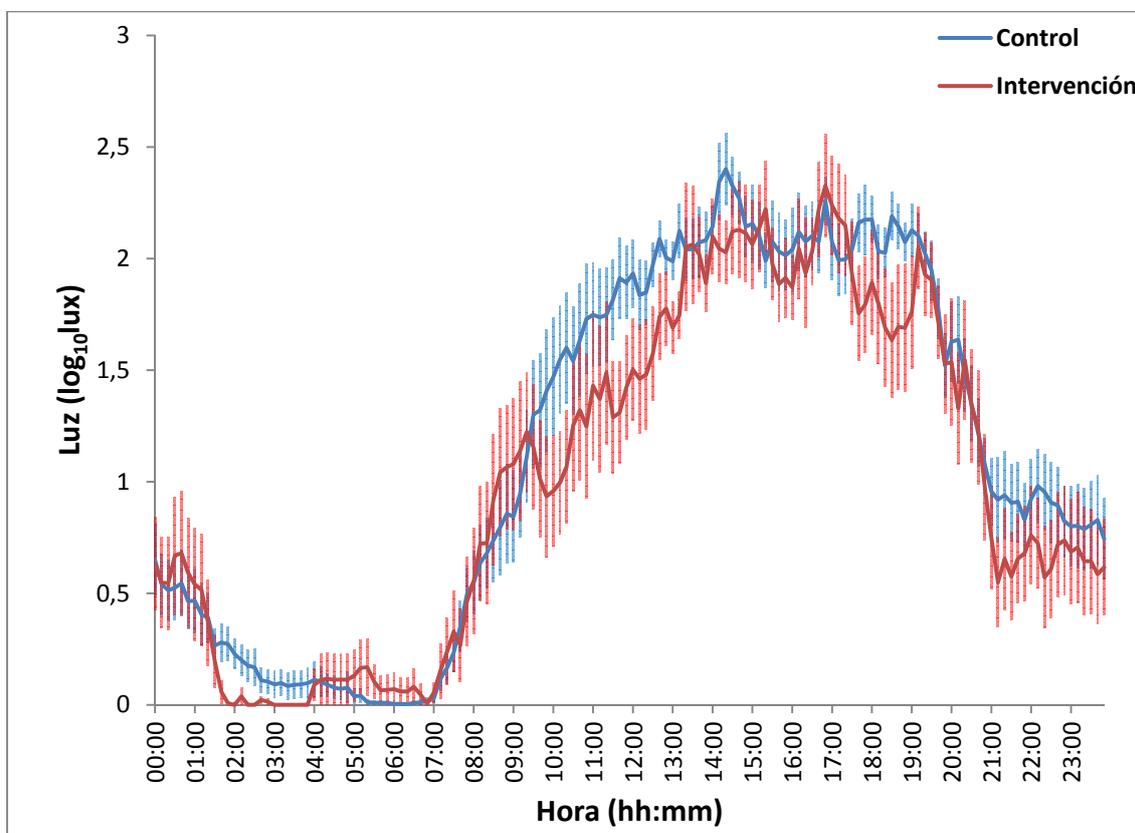


Figura 18. Ondas medias promedio de la población para la exposición lumínica en las dos fases de monitoreo.

LUZ	IS	IV	AR	CFI	M10H	M10V	L5H	L5V
<b>Control</b>	0,52 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,96 ± 0,02	0,81 ± 0,02	15:28 ± 00:20	2,04 ± 0,08	04:34 ± 00:27	0,04 ± 0,02
<b>Intervención</b>	0,7 ± 0,05	0,09 ± 0,01	0,99 ± 0,01	0,88 ± 0,02	15:38 ± 00:28	1,9 ± 0,13	03:20 ± 00:38	0,01 ± 0,01
<b>p</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,410	0,160	<b>&lt;0,001</b>	0,650	0,230	<b>&lt;0,05</b>	0,190

Figura 19. Índices no paramétricos de la población para la exposición lumínica durante un período de diez días.

En la onda media promedio de exposición a la luz se puede observar una ligera mejora de los valores de intensidad lumínica en la fase de intervención. Los sujetos en la fase de intervención reciben una cantidad aproximada a 0 lux durante las horas centrales de sueño, y una menor cantidad también las horas previas al inicio del sueño. Sin embargo se ve como los sujetos en promedio seguían acostándose tarde recibiendo así luz hasta aproximadamente las 02:00 horas. Durante el período diurno no se aprecian diferencias significativas. En relación a los índices paramétricos, el CFI indica una mejora de la robustez en la fase de intervención (figura 20), y el L5H marca el retraso de fase producido por los dispositivos electrónicos (grupo control figura 19).

## 5.2.6. TAP

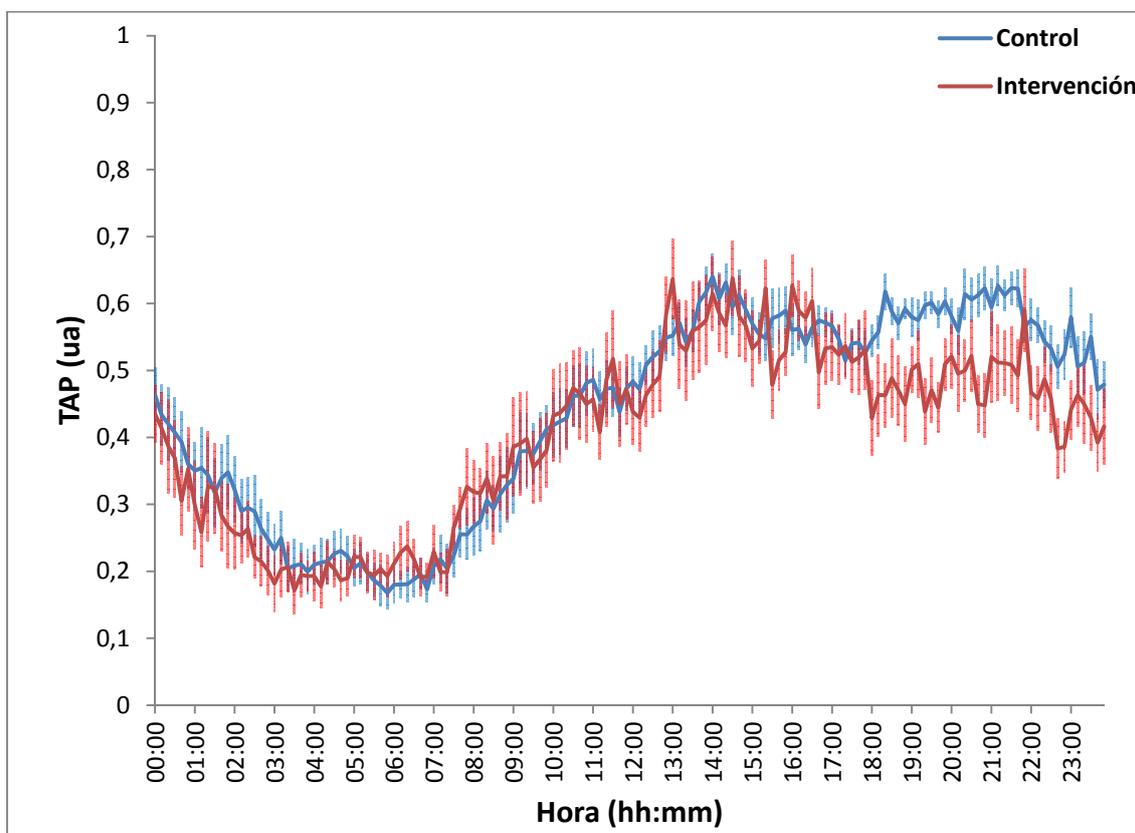


Figura 20. Ondas medias promedio de la población para la variable TAP en las dos fases de monitoreo.

TAP	IS	IV	AR	CFI	M10H	M10V	L5H	L5V
<b>Control</b>	0,43 ± 0,03	0,42 ± 0,03	0,53 ± 0,04	0,58 ± 0,03	17:51 ± 00:37	0,59 ± 0,01	05:36 ± 00:37	0,19 ± 0,02
<b>Intervención</b>	0,59 ± 0,06	0,44 ± 0,05	0,51 ± 0,04	0,63 ± 0,03	16:51 ± 00:33	0,55 ± 0,03	04:54 ± 00:32	0,18 ± 0,02
<b>p</b>	<b>&lt;0,01</b>	0,460	0,520	0,110	0,090	0,140	0,280	0,830

Figura 21. Índices no paramétricos de la población para la variable TAP durante un período de diez días.

Por último, la variable TAP, refleja los posibles cambios en temperatura periférica, actividad motora y posición corporal simultáneamente, integrando los resultados obtenidos. De la representación de su onda media se observa un evidente descenso en la fase de intervención, situada en las horas previas a dormir, lo que evidencia una correcta aplicación de lo exigido a los sujetos en cuanto a la reducción del uso de dispositivos electrónicos en las horas previas al sueño. Aunque no encontramos diferencias significativas en los índices no paramétricos, pudimos observar una tendencia al adelanto de fase en M10H (figura 22), y una mayor robustez del ritmo (CFI, figura 22) durante el período de intervención.

## 6. DISCUSIÓN

Este trabajo es el primero en que se estudia la influencia directa del uso de dispositivos electrónicos en las variables circadianas (luz, temperatura periférica, sueño, actividad, posición y TAP) y su repercusión sobre el estado y funcionamiento del sistema circadiano de los humanos. El análisis conllevaba dos fases distintivas para la comprobación, una primera fase de control donde los sujetos debían llevar un estilo de vida normal, y una fase de intervención donde se les pedía suprimir el uso de dispositivos electrónicos durante las horas previas a dormir (dos o tres horas antes). Se observó entonces un considerable adelanto de fase en la semana de intervención evitando la luz azul, obteniendo mejores valores de las variables analizadas, como veremos a continuación.

Dentro de la temperatura periférica, durante la fase de control se observó una mayor temperatura diurna, siendo un síntoma de baja actividad o somnolencia, esto posiblemente es debido a un menor descanso nocturno por el uso de los dispositivos electrónicos de luz azul durante la noche, ya que la exposición prolongada de luz azul dificulta el inicio del sueño (Cajochen *et al.* 2005), lo que generaría un déficit de sueño que elevaría la temperatura de la piel durante el día.

La zona de valores bajos de actividad motora ocurre durante la noche, momento que en la mayoría de los sujetos se encuentra retrasado en la fase de control (>05:30). Durante la fase de intervención se produce un adelanto en el momento de mayor reposo físico hasta valores dentro de la media (entre 02:00 – 05:30) (<https://kronowizard.um.es/kronowizard>), que representa un menor nivel de actividad física durante las horas centrales de la noche, favoreciendo una mejor profundidad del sueño.

Respecto al tiempo de sueño, es muy variable entre los sujetos, siendo más importante la calidad del sueño que su cantidad (límites entre 6-9 h), siendo 8 horas el tiempo necesario para la edad de los sujetos. El momento de máximo descanso u hora central de sueño (M5H) pasó de las 05:44 h en la fase de control a las 04:50 h en la fase de intervención, situándose dentro del rango normal y conveniente para una persona saludable (02:00 – 05:00 h). La profundidad del sueño medida en una escala de 0 a 10 en la fase de control era ligeramente inferior que en la fase de intervención, donde se alcanzaban valores porcentuales de hasta el 89%, siendo 100% la máxima profundidad posible. En cuanto al cómputo general, ningún sujeto representaba un número considerablemente grande de despertares durante el período nocturno (<https://kronowizard.um.es/kronowizard>).

Se producía una fragmentación del ciclo sueño-vigilia debido a la luz nocturna, debido a una alta variabilidad intradiaria, y una baja amplitud relativa (Van Someren *et al.* 1999). En general, los sujetos recibían durante el día un mayor porcentaje de la luz media tanto en la fase de control, exceptuando los sujetos que más abuso hacían de los dispositivos electrónicos hasta altas horas de la noche, por lo que se acostaban y levantaban muy tarde. En la fase de intervención se llegó a que la mayoría de los sujetos recibían al menos la luz media (entre 1,5 y 3 unidades logarítmicas). Pero en cuanto a la luz en el período de sueño nocturno durante la fase de control se encontraron resultados preocupantes, donde casi ninguno de los sujetos cumplía el máximo de 0,1 lux de luz recibida durante la noche (el mejor descanso es en oscuridad completa o 0 lux), llegando hasta 0,45 lux en el peor de los casos. A partir de aquí se comprobaría si en la fase de

intervención los sujetos cumplirían las exigencias de evitar los dispositivos electrónicos durante la noche, llegando a la evidencia de que en esta fase se mostró una evidente reducción de la luz recibida durante la noche, observando que el 100% de los sujetos analizados cumplían con menos de 0,1 lux de luz nocturna.

En cuanto a la variable integrada TAP, compuesta por la temperatura periférica, la actividad motora y la temperatura corporal, ofrece una representación magnificada de lo que muestran las variables que la componen. Por lo tanto, se observó un ligero adelanto de fase en la fase de intervención respecto a la fase control, puesto que estas variables estaban influidas por la luz azul.

La exposición a luz azul durante el período nocturno por las células ganglionares de la retina provoca una inhibición de las neuronas responsables de promover el sueño, haciendo reaccionar a aquellas neuronas responsables del estado de alerta en el hipotálamo. Esto es uno de los efectos más comunes de las luces de longitud de onda corta, en especial la luz azul. Además, la exposición prolongada a este tipo de iluminación tipo LED puede ocasionar serios daños sobre la visión afectando a las células del epitelio pigmentario de la retina, tejido sensible que una vez dañado nunca se regenera.

Uno de los efectos más comunes es el provocado en los despertares nocturnos, cuando la mayoría de las personas suelen encender la luz. Este aparente simple hecho hace que nuestro cerebro, aunque sea por un par de minutos, recibe información lumínica como si ya fuese de día, reduciendo drásticamente la síntesis de melatonina hasta un nivel similar al diurno. Esta disminución también depende del momento de la fase de oscuridad en el que se produce la exposición a la luz, si es en la primera mitad de la noche los niveles de melatonina pueden restablecerse tras una hora aproximadamente después del pulso de luz, mientras que si se produce en la segunda mitad de la noche no se reestablecen los niveles de melatonina en lo que queda del período nocturno (Rol *et al.* 2011).

Recomendaciones generales propuestas para una mejor estabilidad de los ritmos circadianos y un mejor descanso nocturno son: exponerse a luz brillante natural al despertar, ir a dormir cuando se sienta sueño, tener hábitos regulares, procurar tener cenas ligeras, evitar la ingesta sustancias excitantes y el uso de dispositivos electrónicos dos o tres horas antes de dormir, practicar hábitos relajantes antes de dormir como leer o escuchar música, realizar diariamente y en similar franja horaria algún tipo de ejercicio físico en exteriores (preferiblemente por la mañana), durante la noche utilizar luces cálidas, en los despertares nocturnos no encender la luz o en todo caso una luz de muy baja intensidad y espectro cálido, y procurar dormir las horas diarias necesarias, evitando grandes diferencias horarias entre acostarse y levantarse.

## 7. CONCLUSIONES

1. Se observa que en casi todos los sujetos se perjudica el funcionamiento del sistema circadiano tanto por insuficiente luz recibida durante el período diurna, como el exceso de luz brillante artificial recibida durante el período nocturno, especialmente de luz azul, ya que es la mayor supresora de la secreción de melatonina en humanos.
2. Es más saludable y recomendable utilizar luces de calidad (con espectros amarillos o naranjas) y de muy baja intensidad durante las horas de la noche, especialmente en los despertares nocturnos si fuese necesaria. Destaca la lámpara de sodio de baja presión como la mejor alternativa de uso nocturno en exteriores.
3. El patrón de luz-oscuridad difiere considerablemente con el ciclo luz-oscuridad natural ambiental, ya que está condicionado por la influencia de los dispositivos electrónicos, sobre todo durante las horas previas a dormir. Este hecho provoca en los sujetos un retraso de fase comparando la fase de control con la fase de intervención, viéndose claramente la influencia en el sistema circadiano de dispositivos tales como móviles, ordenadores, televisión...que extienden el período activo a horas más vespertinas. Por lo tanto se aconseja, además de evitar el uso de dispositivos electrónicos durante dos o tres horas previas a dormir, dormir en ambientes frescos, silenciosos y en completa oscuridad.
4. Cada día es más necesario el desarrollo de normativas para limitar la influencia de la iluminación artificial y del alumbrado público en las viviendas o en el ámbito privado, mediante el establecimiento de medidas como distancias mínimas de las fuentes de luz a las puertas y ventanas de edificios. Es también necesario dirigir futuros estudios hacia el desarrollo de fuentes de luz cronosaludables para determinar los tiempos de exposición, intensidad y longitudes de onda de los dispositivos de iluminación LED que interfieren en los ritmos biológicos y ocasionan perjuicios en la salud de los seres humanos.

### 7.1. CONCLUSIÓN GENERAL

Se ha podido observar una mejora evidente en las variables biológicas analizadas entre el uso diario, y sobre todo nocturno, por la restricción del uso de los dispositivos electrónicos, lo que da razón a que un reducido y razonable uso de ordenadores, teléfonos móviles, televisión...mejora considerablemente el estado y funcionamiento del sistema circadiano, lo que a su vez repercutiría en una mejora de la salud humana. Lo ideal sería suprimir durante la noche esa utilización de luz brillante azul para un ideal y correcto funcionamiento de los ritmos biológicos.

## 8. REFERENCIAS

- 1) Cajochen C, Münch M, Kobialka S, Kräuchi K, Steiner R, Oelhafen P, Orgül S & Wirz-Justice A. 2005. High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation, and Heart Rate to Short Wavelength Light. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 90(3):1311–1316
- 2) Cambras T, 2006. Propiedades fundamentales de los ritmos circadianos. *En Cronobiología Básica y Clínica* (Madrid JA, Rol MA eds). Editec @red. Madrid.
- 3) Cardinali DP. 1992. Ritmos biológicos. En Fisiología humana (Tresguerres JAF ed). Interamericana McGraw-Hill. Madrid.
- 4) Czeisler Charles. 2013. Casting light on sleep deficiency. *Nature*. 497: (S13)
- 5) Kuhlman SJ, Mackey SR & Duffy JF. 2007. Biological rhythm workshop I: Introduction to Chronobiology. Clocks and Rhythms. Stillman B, Stewart D & Grodzicker T. (eds). Cold Spring Harbor Laboratory Press. New York.
- 6) Lucas-Sánchez A, Martínez-Nicolás A, Escames G & de Costa J. 2012. Envejecimiento del sistema circadiano. *Revista Española de Geriatria y Gerontología*. 47(2):76-80.
- 7) Madrid JA & Rol MA. *Cronobiología básica y clínica*. Editecred, 2006.
- 8) Martínez-Nicolás A, Ortiz-Tudela E, Madrid JA & Rol MA. 2011. Crosstalk Between Environmental Light and Internal Time in Humans. *Informa healthcare*. 629: 617-629
- 9) Martínez-Nicolás A, Ortiz-Tudela E, Rol MA y Madrid JA. *Influencia de la exposición a la luz sobre el sistema circadiano* 2013. 25:24-38
- 10) Morgan K & Clarke D. 1997. Risk factors for late-life insomnia in a representative general practice sample. *British Journal of General Practice*. 47:166-9

- 11) Ortiz-Tudela E, Martínez-Nicolás A, Campos M, Rol MA & Madrid JA. 2010. A New Integrated Variable Based on Thermometry, Actimetry and Body Position (TAP) to Evaluate Circadian System Status in Humans. *Computational Biology*. 11:1-11
- 12) Pauley SM. 2004. Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Medical Hypotheses*. 63:588-596.
- 13) Reiter RJ, Tan D-X, Korkmaz A, Erren TC, Piekarski C, Tamura H & Manchester LC. 2007. Light at night, chronodisruptio, melatonin suppression, and cancer risk. *Critical Reviews in Oncogenesis*. 13:303-28.
- 14) Rol MA, Baño B., Martínez A., Bonmatí MA., Ortiz E. y Madrid J.A. 2011. El lado oscuro de la luz: efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana. *Física y sociedad*. 20-22
- 15) Sarabia JA, Rol MA, Mendiola P & Madrid JA. Circadian rhythm of wrist temperature in normal-living subjects: A candidate of new index of the circadian system. *Physiology and Behavior* 2008; 95: 570-80
- 16) Straif K, Baan R, Grosse Y, Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Altieri A, Benbrahim-Tallaa L & Coglian V. 2007. Carcinogenicity of shiftwork, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncol*. 8:1065-6.
- 17) Touitou & Haus E. *Biologic Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine*. Berlin: Springer Verlag; 1994
- 18) Van Someren EJ, Swaab DF, Colenda CC, Cohen W, McCall WV, Rosenquist PB. 1999. *Bright light therapy: improved sensitivity to its effects on rest-activity rhythms in Alzheimer patients by application of nonparametric methods*. *Chronobiol Int*.
- 19) Yamazaki S, Numano R, Abe M, Hida A, Takahashi R, Ueda M, Block GD, Sakaki Y, Menaker M & Tei H. 2000. Resetting central and peripheral circadian oscillators in transgenic rats. *Science*.

## PÁGINAS WEB

- 1) Clínica del Sueño Estivill. Estudios Actimétricos.  
<http://www.doctorestivill.es/index.php/estudios-actimetricos> (01/09/2014)
- 2) Club Planeta. El monstruo bajo la cama del siglo XXI  
[http://www.peques.com.mx/el\\_monstruo\\_bajo\\_la\\_cama\\_del\\_siglo\\_xxi.htm](http://www.peques.com.mx/el_monstruo_bajo_la_cama_del_siglo_xxi.htm) (01/09/2014)
- 3) CRONOLAB. Cronobiología. Universidad de Murcia.  
<http://www.um.es/cronobio/index.php?x=publicaciones&y=471> (01/09/2014)
- 4) El Tiempo. Previsión de tiempo en Murcia. [www.eltiempo24.es](http://www.eltiempo24.es) (12/07/2014)
- 5) Grupo Marmor. 2013. Usar el celular o la tableta antes de dormir trae problemas de sueño. *La Nación*. <http://www.marmorinforma.mx/Nacional/Vida-y-Arte/Usar-el-celular-o-la-tableta-antes-de-dormir-trae-problemas-de-sueno> (01/09/2014)
- 6) Mapfre. 2012. Daño ocular causado por dispositivos LED. *Seguridad y Medio Ambiente*.  
<http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n128/es/articulo3.html>  
(01/09/2014)
- 7) Rol MA, Baño B, Martínez A, Bonmatí MA, Ortiz E & Madrid JA. 2011. El lado oscuro de la luz: efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana.  
[http://www.cofis.es/pdf/fys/fys21/fys21\\_20-22.pdf](http://www.cofis.es/pdf/fys/fys21/fys21_20-22.pdf) (01/09/2014)
- 8) Sueño/vigilia – Ritmo circadiano: Marcapasos cerebral.  
<http://www.medicinageriatrica.com.br/2013/01/29/sonovigilia-ritmo-circadiano-marcapasso-cerebral/> (01/09/2014)
- 9) Universidad de Cantabria. Ciencias de la Salud. Biogerontología.  
<http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/biogerontologia/materiales-de-clase-1/capitulo-9.-envejecimiento-y-ritmos-biologicos/9.2-concepto-de-sistema-circadiano> (01/09/2014)

10) Unidad de Cultura Científica y Promoción de la Investigación. Actividad investigadora. Universidad de Murcia

<http://www.um.es/prinum/index.php?opc=actividad&ver=225> (01/09/2014)

11) Valerio M. 2013. La luz de las pantallas nos roba el sueño. Recetas para dormir. *El Mundo*. Madrid

[http://rsocial.elmundo.orbyt.es/epaper/xml\\_epaper/EI%20Mundo/01\\_06\\_2013/pla\\_11014\\_Madrid/xml\\_arts/art\\_15439495.xml?SHARE=6C23C0F29C6C4F158F7CA6264B48630536FD34411FFEE7E210B54B0F2C1D442865410D30D1085E4B25B4DC92C8AE43E566E20FACB2DEE626C86F871AF23E87258911D38285A28F72AB0DCAC262F3CEEBCCC5DB07505B93B6C38AC3F50465741C](http://rsocial.elmundo.orbyt.es/epaper/xml_epaper/EI%20Mundo/01_06_2013/pla_11014_Madrid/xml_arts/art_15439495.xml?SHARE=6C23C0F29C6C4F158F7CA6264B48630536FD34411FFEE7E210B54B0F2C1D442865410D30D1085E4B25B4DC92C8AE43E566E20FACB2DEE626C86F871AF23E87258911D38285A28F72AB0DCAC262F3CEEBCCC5DB07505B93B6C38AC3F50465741C) (01/09/2014)