



## EFECTO DE LA LUZ LED AZUL Y LUZ UVB EN LA SUPERVIVENCIA DE *Caenorhabditis elegans*

Effects of blue led and medium wave uvb light in *Caenorhabditis elegans* survival

Juan Pablo Cobos<sup>1</sup>, Juan Diego Castillo<sup>1</sup>, Marcela Gómez-Garzón<sup>1\*</sup>

### Resumen

**Introducción:** el sueño es esencial para la salud humana y está influenciado por relojes circadianos internos que pueden ser ajustados por señales externas como la luz. El nematodo *Caenorhabditis elegans* es un modelo invertebrado que muestra similitudes en los patrones de sueño de los mamíferos. Sin embargo, la exposición excesiva a la luz puede afectar negativamente el sueño inducido por estrés (SIS). **Objetivo:** el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la luz azul (LED) y UV de onda media (UVB) en la supervivencia de *Caenorhabditis elegans* y comparar con el ciclo circadiano de 12 horas de exposición a luz blanca. **Métodos:** se realizó una investigación experimental utilizando larvas L1 de *C. elegans* N2 cultivadas en agar NGM con una fuente de alimento de *E. coli* OP50, y fueron sometidos a oscuridad y luz blanca, Luz LED y Luz UVB en periodos de 12 h y 24 h. **Resultados:** al finalizar el experimento se evidenció que, en las larvas expuestas durante los periodos de 24 h, la supervivencia fue del 26 % con luz LED y 33 % con luz UVB, mientras que las larvas que permanecieron en oscuridad permanente la supervivencia fue de 73 %, mostrando alta fototoxicidad. En las larvas expuestas durante los periodos de 12 h, la supervivencia fue del 67 % con luz LED y 65 % con luz UVB, mientras que las larvas que permanecieron en luz blanca la supervivencia fue de 59 %. **Conclusiones:** estos resultados nos muestran que cuanto más largo es el fotoperiodo de exposición, más corta es la supervivencia de *C. elegans*.

**Palabras clave:** *Caenorhabditis elegans*; luz; supervivencia.

\* Facultad de Enfermería. Fundación Universitaria Ciencias de la Salud. Semillero SIMIC.

Recepción: 23/10/2023. Aceptación: 17/06/2024.

**Cómo citar este artículo:** Cobos JP, Castillo JD, Gómez-Garzón M. Efecto de la luz led azul y luz UVB en la supervivencia de *Caenorhabditis elegans*. 2024;15(1). DOI: 10.17533/udea.hm.v15n1a02

## Abstract

**Introduction:** Sleep is essential for human health, and it is influenced by internal circadian rhythms that can be adjusted by external cues such as light. The nematode *Caenorhabditis elegans* is an invertebrate model that shows similarities to mammalian-sleep patterns. However, excessive light exposure can negatively affect stress induced sleep (SIS). **Objective:** To evaluate the effect of blue light (LED) and medium wave UV (UVB) on the survival of *C. elegans* and compare with the circadian cycle of 12 h white light exposure. **Methods:** An experiment was carried out using L1 larvae of *C. elegans* N2 cultured on NGM agar with a food source of *E. coli* OP50, and subjected to darkness, white, LED and UVB Lights in periods of 12 h and 24 h. **Results:** At the end of the experiment, an increase in mortality due to phototoxicity was evident, demonstrated by a lower survival rate in the larvae exposed for 24 h, when compared to the larvae that remained in permanent darkness, a natural condition of the parasite. **Conclusions:** These results show us that the longer the exposure photoperiod, the shorter the survival of *C. elegans*.

**Keywords:** *Caenorhabditis elegans*; light; survival.

## INTRODUCCIÓN

El sueño es uno de los misterios que aún conserva la humanidad, y uno de los requisitos más importantes para los seres humanos, ya que nos permite mantener un bienestar físico, ocurre la correcta reparación celular, regulación metabólica y la excreción regular de las hormonas sexuales (testosterona, progesterona, estrógenos). Esto se da por la regulación del ciclo circadiano que logra conservar nuestra edad biológica, mitigar el envejecimiento prematuro, favorecer un peso equilibrado, promover la función adecuada del ritmo cardíaco y perfusión sanguínea. Diferentes investigaciones han demostrado que dormir correctamente y poder conciliar un buen sueño mejorara nuestro sistema inmune para combatir distintos tipos de cáncer. Además, el sueño nos da muchos beneficios en la salud mental como el descanso, promueve el proceso de aprendizaje permitiendo asimilar la información que

se tuvo durante el día, conserva la memoria, regular las emociones y mejora las relaciones interpersonales, reduce la ansiedad, mantiene la calma, permite estar alertas y responder correctamente a las demandas que nos genera el entorno.<sup>1,2</sup>

La sensación de luz es fundamental para todos los seres vivos, desde las bacterias hasta los humanos. En el mundo moderno los dispositivos electrónicos son las herramientas que usamos diariamente y nos permite desarrollar trabajos en nuestros empleos, leer documentos online, entretenernos en las redes sociales para pasar tiempo, así como comunicarnos y saber lo que pasa hoy en día alrededor del mundo, y un sin fin de usos. Estos dispositivos electrónicos tienen pantallas con luz azul y la mayoría de las personas duran más de 8 horas frente a estos dispositivos, los cuales incluyen: computadoras, teléfonos celulares, pantallas para consola de videojuegos, entre otros dispositivos de entretenimiento<sup>3,4</sup> Debido a la utilización prolongada a estos dispositivos se han evidenciado cambios en el ciclo normal que provoca la falta de sueño<sup>1,2,5</sup> así como afectación de la córnea, el cristalino y hasta la retina provocando enfermedades como ojo seco, cataratas y degeneración macular asociada a la edad.<sup>6</sup>

Existen similitudes entre el sueño en los mamíferos y el nematodo *Caenorhabditis elegans*<sup>7</sup> Este parásito deja de alimentarse y moverse durante una etapa de transición larvaria llamada letargo y como respuesta a la exposición de factores estresantes celulares. Estos comportamientos se han denominado estados de sueño, un sueño cronometrado por el desarrollo o letargo (DTS) y sueño inducido por estrés (SIS). El DTS y el SIS están regulados por las mismas vías de señalización que regulan el sueño de los mamíferos.<sup>8</sup>

El DTS es similar al sueño regulado por temporizadores circadianos en insectos y mamíferos,<sup>7</sup> se produce durante dos o tres horas después de cada estadio larvario y se caracteriza por la inactividad, cambio postural, disminución de respuesta a estímulos y la respuesta homeostática a la privación del sueño. La alimentación y la locomoción, que persisten a lo largo del desarrollo del gusano, cesan durante este tipo de sueño, y los gusanos tienden a adoptar una postura en forma de palo de hockey. Los gusanos son más difíciles de despertar durante este tiempo y la privación de DTS puede ser letal.<sup>8-10</sup>

El SIS ocurre después de la exposición a estímulos ambientales que provoquen estrés celular como la luz y la temperatura,<sup>11,12</sup> su duración depende de la magnitud del factor estresante y se caracteriza por un cese de la alimentación y de locomoción y con mayor umbral de excitación. La alteración del SIS produce un aumento de la mortalidad, lo que demuestra que este estado de sueño tiene una función fisiológica adaptativa. El SIS puede ocurrir durante cualquier estado de desarrollo.<sup>8-11</sup>

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la luz azul (LED) y la luz UV de onda media (UVB) en la supervivencia de *Caenorhabditis elegans* y comparar con el ciclo circadiano de 12 h de exposición a la luz blanca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio experimental. El trabajo fue financiado por la Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud por la Convocatoria para el Fortalecimiento de Semilleros 2020 (DI-I-0630-20) y aprobado por el Comité de ética.

### CEPAS

En este estudio se utilizó la cepa N2 de *Caenorhabditis elegans* tipo salvaje var Bristol, la cual fue adquirida en Caenorhabditis Genetics Center de la Universidad de Minnesota, USA. Adicionalmente, se utilizó la cepa de *Escherichia coli* OP50, donada por la doctora Ruth Mérida Sánchez Mora del grupo de biotecnología y genética de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, para la alimentación del nemátodo.

### CULTIVO Y MANTENIMIENTO DE *C. ELEGANS*

El mantenimiento de las cepas se realizó siguiendo el protocolo estandarizado en el Laboratorio de Microbiología de la FUCS y modificado del protocolo

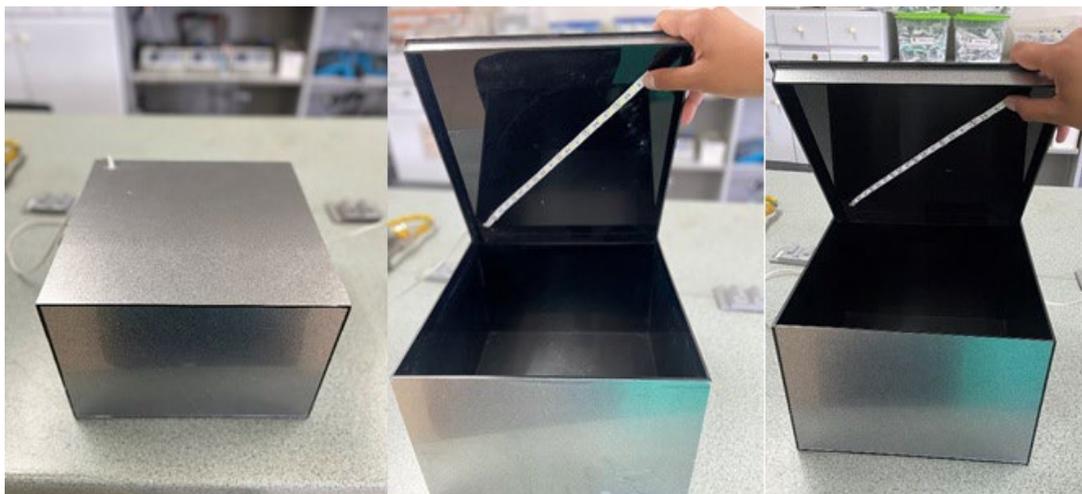
propuesto por el Caenorhabditis Genetics Center (CGC), se utilizó para esto el medio NGM en cajas de Petri de 65 x 15 mm y como fuente de alimentación 50µL de *Escherichia coli* OP50 a una concentración 1.5x10<sup>8</sup> UFC. Las cajas fueron sometidas a luz UV por 20 min para matar la bacteria y almacenadas a una temperatura de 2°C hasta su uso.

### SINCRONIZACIÓN

Se usaron cajas sembradas con *C. elegans* con larvas adultas fértiles, se adicionó 3ml de buffer M9 (3g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 6g NaHPO<sub>4</sub>, 5g NaCl, 1 ml de MgSO<sub>4</sub> 1M), se mezcló suavemente y se recolectaron los parásitos en tubos eppendorf de 1,5ml y se centrifugó a 3000 rpm durante 5 min. Se retiró el sobrenadante y se adicionó 1 ml de solución bleaching (0,5 ml de agua destilada, 2,5 ml de NaOH 2M (molar) y 2 ml de NaClO 4 %) y se agitó manualmente por 4 minutos. Posteriormente, se centrifugó a 3000 rpm durante 5 min, se retiró sobrenadante y se adicionó 1ml de buffer M9; se centrifugaron a 2500 rpm por 3 min y se descartó el sobrenadante. Finalmente, se transfirieron 50 µl del sedimento a cajas con medio NGM para la eclosión de los huevos en larvas L1. Las cajas se incubaron a 16°C y se revisaron diariamente hasta que las larvas llegaron a estadio L3.

### EXPERIMENTO LUZ BLANCA - OSCURIDAD

En el caso de las larvas de *C. elegans* expuestas a oscuridad y luz blanca, se utilizó una lámpara de escritorio con fuente luminosa de 6 LEDS (Led Expressions Referencia 185 WH) y una potencia máxima de la fuente luminosa de 3W, la cual produce temperaturas entre 18°C a 22°C en caja laminada de 30 cm de área por 20,5 cm de alto (Fig. 1). En 10 cajas con agar NGM se colocaron 10 larvas L3 bajo condición de oscuridad 24h (control); y en 10 caja con agar NGM se colocaron 10 larvas L3 expuestas por 12 h a oscuridad y 12 h a luz blanca controlado con temporizador (control).



**Figura 1.** Cajas laminadas con fuentes luminosa LED y UVB.

#### **EXPOSICIÓN DE LAS LARVAS DE *C. ELEGANS* A LA LUZ LED AZUL (LIGHT EMITTING DIODE)**

Para simular la luz azul de las pantallas de los dispositivos, se utilizó una tira LED azul con una cantidad de fuente luminosa de 18 LEDs (ECOLITE Model STR800-A) la cual produce temperaturas entre 20°C y 22°C y con una potencia de 12V en caja laminada de 30 cm de área por 20,5 cm de alto (Fig. 1). En 10 cajas con agar NGM se colocaron 10 larvas L3 las cuales fueron expuestas por 24 h a luz azul; y en 10 cajas con agar NGM se colocaron 10 larvas L3 expuestas por 12 h a luz azul y 12 h de oscuridad controlado con temporizador.

#### **EXPOSICIÓN DE LAS LARVAS DE *C. ELEGANS* A LA LUZ ULTRAVIOLETA B (UVB)**

Para la exposición de *C. elegans* a la Luz UVB se utilizó una cinta UVB con una cantidad de fuente luminosa de 18 LEDs (Supli Led Conex, 12 Voltios, 5050 SMD LED UV Ultravioleta, de alta intensidad) la cual produjo temperaturas entre 20°C y 22°C y con una longitud de onda de 395-405 nm en caja laminada de 30 cm de área por 20,5 cm de alto (Fig. 1). En 10 cajas con agar NGM se colocaron 10 larvas L3 fueron expuestas por 24 horas a UVB; y en otras 10 cajas con agar NGM se colocaron 10 larvas L3 expuestas por 12 h a UVB y 12 h de oscuridad controlado con temporizador.

#### **ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA**

Antes de realizar el recuento de larvas vivas o muertas, se controló la temperatura con termómetro digital Infrarrojo (Hangzhou Qingyuan Medical Equipment Technology Co. Ltd Model QY-EWQ-01). Se realizó recuento de larvas vivas que respondieran al estímulo de contacto con el pico de platino. La ausencia de movimiento de la larva se reportó como muerta. Se contaron las larvas censuradas, aquellas que perdieron, se enterraron o se salieron por las paredes de la caja. Al día 4 se realizó pase de las larvas L4 vivas originales a cajas NGM para evitar contar las nuevas larvas.

#### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los datos fueron registrados diariamente en una planilla y digitalizados en tablas Excel. Se realizó análisis estadístico con el programa STATA13. Se generaron las curvas de supervivencia de Kaplan Meir y se realizó la prueba estadística de Wilcoxon. Se definió un valor significativo con una  $P < 0,005$ .

## **RESULTADOS**

Para investigar si diferentes tipos de luz podrían afectar la esperanza de vida de *C. elegans*, comparamos la supervivencia de larvas de la cepa salvaje N2 en las

siguientes condiciones: 1) oscuridad permanente con 0 h de luz blanca/ 24 h de oscuridad cada día, o 2) luz blanca 12 h/ 12 h oscuridad (Fig. 2a). La supervivencia de las larvas el día 7, en el grupo que permaneció 24 h en oscuridad, fue del 73 %, mientras que el grupo sometido a ciclo 12h/12 h fue del 59 %. Una razón indirecta que explicarían la disminución de la supervivencia de las larvas al ser expuestas a luz blanca, es que esta luz puede provocar el calentamiento de las placas de agar; sin embargo, esta hipótesis fue descartada dado que la temperatura no sufrió alteraciones marcadas, la cual presentó una mediana de 19,6°C. En conjunto, estos resultados indican que la exposición diaria a la luz disminuye la supervivencia de *C. elegans*.

Dentro de la luz blanca hay un gran espectro de longitudes de onda, incluida la luz LED de colores específicos; por consiguiente, las larvas fueron expuestas a luz LED azul en las siguientes condiciones: 1) luz LED azul 24 h cada día, o 2) luz LED azul 12 h/ 12 h oscuridad (Figura 2b). La supervivencia de las larvas al día 7 en el grupo que permaneció 24 h en luz LED azul fue del 26 %, mientras que el grupo sometido a ciclo 12h/12 h fue del 67%, indicando que la luz LED azul tiene efecto perjudicial en las larvas N2.

Por otro lado, *C. elegans* detecta la luz ultravioleta (UV) gracias al fotorreceptor LITE-1 y a la proteína de señalización TAX-2, que a intensidades de luz muy alta no alteran el reloj circadiano,<sup>13</sup> mientras que fotoperiodos constantes provocan una disminución en la supervivencia.<sup>14</sup> Las ondas cortas de la radiación UVB del sol en su mayor parte son interceptadas por la capa de ozono y sobre la piel atraviesa las capas superiores de la epidermis y la broncea con rapidez en los huma-

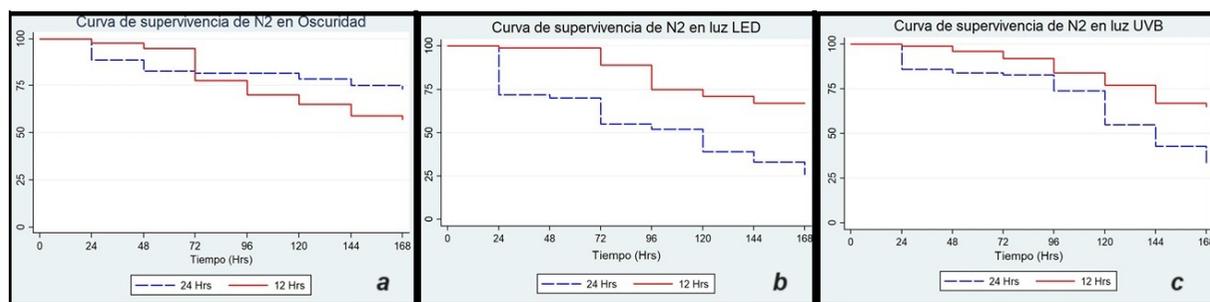
nos. Probamos el efecto de la luz UVB en la supervivencia de *C. elegans* en las siguientes condiciones: 1) luz UVB permanente 24 h cada día, o 2) luz UVB 12 h/ 12 h oscuridad (Figura 2c). La supervivencia de las larvas el día 7 en el grupo que permaneció 24 h en UVB fue del 33 %, mientras que el grupo sometido a ciclo 12h/12 h fue del 65 %. Estos resultados sugieren que el fotoperiodo de 24 h de luz UVB actúa directamente sobre las larvas posiblemente ejerciendo un efecto tóxico en los componentes celulares durante el sueño inducido por estrés (SIS).

En conjunto estos hallazgos indican que la luz parece ejercer un efecto deletéreo alterando la supervivencia de las larvas de *C. elegans* independiente del ritmo circadiano y dependiente de la duración y del tipo de luz. En este estudio se realizó la comparación a la exposición de los tres tipos de luz en periodos 12 h/ 12 h oscuridad (Figura 3a) y 24 h permanentes (Figura 3b), y se observó que cuanto más largo es el fotoperiodo de exposición, más corta es la supervivencia de *C. elegans*.

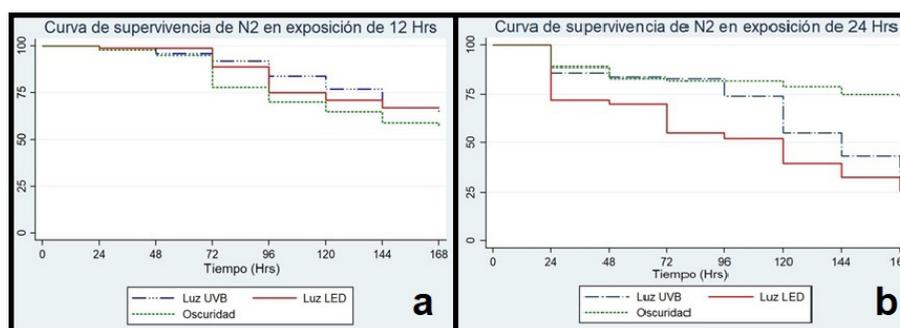
Se aplicó la regresión de Cox a los datos utilizando el tipo de luz y el tiempo como variables explicativas. El resultado se muestra en la Tabla 1. Los valores *p* indican que la supervivencia entre los experimentos de luz LED azul y luz UVB tiene significación estadística, y existe una fuerte evidencia de que la exposición permanente (24 h) está asociada con la duración de la supervivencia de las larvas. El análisis de riesgos proporcionados de Cox para oscuridad, luz blanca y luz durante 12 h, sugiere que la supervivencia es 1,1 veces mayor que en las otras condiciones evaluadas.

**Tabla 1.** Resultados del análisis de riesgo proporcionales de Cox para larvas *C. elegans* sometidos a luz

Variables	Riesgo	P	Intervalo de confianza (95%)	
Oscuridad - luz blanca	1,167	0,061	0,9931	1,3718
Luz LED azul	0,683	0,000	0,5958	0,7843
Luz UVB	0,755	0,000	0,6592	0,8663
12 horas	1,196	0,128	0,9498	1,5068
24 horas	0,664	0,000	0,5529	0,7991



**Figura 2.** Curvas de supervivencia de *C. elegans*. **a)** luz LED; **b)** luz UV; **c)** Oscuridad – Luz blanca.



**Figura 3.** Curvas de supervivencia de *C. elegans*. **a)** 12 horas; **b)** 24 horas

## DISCUSIÓN

Con el fin de estudiar la supervivencia de *C. elegans* al ser expuesto a diferentes tipos de luz y periodos de tiempo, logramos identificar que la exposición a diferentes ondas de luz y a diferentes periodos de exposición afecta negativamente la vida de este modelo invertebrado.

*Caenorhabditis elegans* abunda en todos los continentes, en zonas templadas húmedas ricas en microorganismos, especialmente en materia vegetal en descomposición, y son expuestos constantemente a diferentes tipos de luz.<sup>15</sup> Su prevalencia en los nichos ecológicos se ve afectada por varios factores bióticos, como la presencia de otras especies de nematodos, la humedad y la lluvia.<sup>16</sup> El ambiente artificial del laboratorio consiste en placas de agar complementadas con la cepa bacteriana *Escherichia coli* OP50 para alimentar la cepas de *C. elegans*. Esta cepa tiene gran capacidad de adaptación a las condiciones del laboratorio, incluida la constante oscuridad de las incubadoras y los cortos periodos de luz fluorescente blanca al realizar siem-

bras, experimentos y lecturas bajo la luz de los estereoscopios.

Para probar si la luz blanca del laboratorio es fototóxica, comparamos el fotoperiodo de 12 h con el de oscuridad de 24 h, y se observó una disminución en la supervivencia debido a que este tipo de luz provoca estrés oxidativo, Miranda-Vizuet y col. proponen que la radiación luminosa del rango visible transporta suficiente energía para provocar reacciones fotoquímicas, que en presencia de oxígeno inducen la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS); es así como el envejecimiento es una consecuencia de la acumulación progresiva del daño oxidativo causado por ROS generados durante la vida de cualquier organismo.<sup>17</sup>

Dado que la luz blanca tiene un espectro de longitudes de ondas, probamos la luz LED azul ( $470 \pm 30$  nm). En humanos este tipo de luz durante el día nos despierta y estimula; pero la exposición excesiva a esta luz proveniente de las pantallas de televisores, teléfonos celulares o computadores en la noche puede actuar como disparador de insomnio. Mientras que la luz visible sincroniza el reloj biológico humano en

los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo con el ciclo solar de 24 horas, las longitudes de onda cortas, percibidas como color azul, son el agente sincronizador más potente del sistema circadiano que mantiene sincronizados internamente la mayoría de los ritmos biológicos y psicológicos.<sup>18,19</sup> En *C. elegans* el sueño inducido por estrés (SIS) se afecta directamente por la exposición prolongada a la luz LED azul, es así como nuestros resultados mostraron una reducción de la supervivencia de las larvas de *C. elegans*. El SIS se caracteriza por un cese de la alimentación y la locomoción de las larvas; por consiguiente, se ha demostrado que la alteración del SIS produce un aumento de la mortalidad, mostrando que este estado de sueño tiene una función fisiológica adaptativa.<sup>8</sup> *C. elegans* puede detectar y responder a la luz de longitud de onda corta, incluida la luz azul, utilizando las proteínas LITE-1 y GUR-3, que son similares a los quimiorreceptores gustativos de los insectos<sup>20</sup> y tienen efectos sobre la fototaxis, provocando bajas tasas de alimentación y muerte temprana de los parásitos.<sup>15</sup> Adicionalmente, la luz puede generar peróxido de hidrógeno que inhibe de manera similar la alimentación de las larvas.<sup>21</sup>

Por otro lado, *C. elegans* detecta la luz UV a través del fotorreceptor LITE-1 y la proteína de señalización TAX-2, y como respuesta desencadenan un comportamiento de escape con disminución del bombeo faríngeo, indispensable para la alimentación.<sup>21</sup> LITE-1 absorbe directamente la luz UVA y UVB con un alto coeficiente de fotoabsorción, lo que indica que LITE-1 es altamente eficiente en la captura de fotones, por lo que Gong y col. han planteado su uso como un aditivo orgánico de protectores solares para proteger la piel contra los dañinos rayos UV de la luz solar.<sup>22</sup> Aunque se demostró que LITE-1 y TAX-2 transmiten información luminosa al reloj circadiano al utilizar cepas mutantes para estos genes; sin embargo, De Magalhaes y col. probaron que la supervivencia no está mediada por las vías de fotorreceptores y tampoco afectan el ciclo circadiano.<sup>15</sup>

En general, los datos obtenidos en este estudio revelan que los diferentes tipos de luz son tóxicos y cuanto más largo es el periodo de luz, más corta es la supervivencia de *C. elegans*; datos que deben ser tenidos en cuenta cuando se realicen modelos de experimentación en el laboratorio con este nemátodo, para que no se vean afectadas las variables a analizar.

## FINANCIACIÓN

El trabajo fue financiado por Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud por Convocatoria Fortalecimiento de Semilleros 2020 (DI-I-0630-20) y realizado en el Semillero SIMIC de Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud.

**Declaración de conflicto de intereses.** No existe conflicto de intereses para ningún autor.

## REFERENCIAS

- Poza JJ, Pujol M, Ortega-Albás JJ, Romero O.** Melatonina en los trastornos de sueño. Neurología [Internet]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-neurologia-295-articulo-melatonina-trastornos-sueno-S0213485318302007>
- Fabres L, Moya P.** Sueño: conceptos generales y su relación con la calidad de vida. Rev Médica Clínica Las Condes. 2021;32(5):527–34.
- Silvani MI, Werder R, Perret C.** The influence of blue light on sleep, performance and wellbeing in young adults: A systematic review. Frontiers in physiology. Switzerland. 2022;13:943108.
- Dresp-Langley B, Hutt A.** Digital Addiction and Sleep. Int J Environ Res Public Health. 2022 Jun;19(11):6910.
- Malik DM, Paschos GK, Sehgal A, Weljie AM.** Circadian and Sleep Metabolomics Across Species. J Mol Biol. 2020 May;432(12):3578–610.
- Zhao Z-C, Zhou Y, Tan G, Li J.** Research progress about the effect and prevention of blue light on eyes. Int J Ophthalmol. 2018;11(12):1999–2003.
- Moosavi M, Hatam GR.** The Sleep in *Caenorhabditis elegans*: What We Know Until Now. Mol Neurobiol. 2018 Jan;55(1):879–89.
- Trojanowski NF, Raizen DM.** Call it Worm Sleep. Trends Neurosci. 2016 Feb;39(2):54–62.
- Blum ID, Bell B, Wu MN.** Time for Bed: Genetic Mechanisms Mediating the Circadian Regulation of Sleep. Trends Genet. 2018 May;34(5):379–88.
- Iwanir S, Tramm N, Nagy S, Wright C, Ish D, Biron D.** The microarchitecture of *C. elegans* behavior during lethargus: homeostatic bout dynamics, a typical body posture, and regulation by a central neuron. Sleep. 2013 Mar;36(3):385–95.
- Hill AJ, Mansfield R, Lopez JMNG, Raizen DM, Van Buskirk C.** Cellular stress induces a protective sleep-like state in *C. elegans*. Curr Biol. 2014 Oct;24(20):2399–405.
- Olmedo M, Merrow M, Geibel M.** Sleeping Beauty? Developmental Timing, Sleep, and the Circadian Clock in *Caenorhabditis elegans*. Adv Genet. 2017;97:43–80.

- 13. De Magalhaes Filho CD, Henriquez B, Seah NE, Evans RM, Lapierre LR, Dillin A.** Visible light reduces *C. elegans* longevity. *Nat Commun.* 2018;9(1).
- 14. Duffy JF, Zitting K-M, Chinoy ED.** Aging and Circadian Rhythms. *Sleep Med Clin.* 2015 Dec;10(4):423–34.
- 15. Schulenburg H, Félix M-A.** The Natural Biotic Environment of *Caenorhabditis elegans*. *Genetics.* 2017 May;206(1):55–86.
- 16. Guisnet A, Maitra M, Pradhan S, Hendricks M.** A three-dimensional habitat for *C. elegans* environmental enrichment. *PLoS One.* 2021 Jan;16(1):e0245139.
- 17. Miranda-Vizuete A, Veal EA.** *Caenorhabditis elegans* as a model for understanding ROS function in physiology and disease. *Redox Biol.* 2017 Apr;11:708–14.
- 18. Guarana CL, Barnes CM, Ong WJ.** The effects of blue-light filtration on sleep and work outcomes. *J Appl Psychol.* 2021 May;106(5):784–96.
- 19. Wahl S, Engelhardt M, Schaupp P, Lappe C, Ivanov I V.** The inner clock-Blue light sets the human rhythm. *J Biophotonics.* 2019 Dec;12(12):e201900102.
- 20. Ghosh DD, Lee D, Jin X, Horvitz HR, Nitabach MN. C.** *elegans* discriminates colors to guide foraging. *Science.* 2021 Mar;371(6533):1059–63.
- 21. Bhatla N, Horvitz HR.** Light and hydrogen peroxide inhibit *C. elegans* Feeding through gustatory receptor orthologs and pharyngeal neurons. *Neuron.* 2015 Feb;85(4):804–18.
- 22. Gong J, Yuan Y, Ward A, Kang L, Zhang B, Wu Z, et al.** The *C. elegans* Taste Receptor Homolog LITE-1 Is a Photoreceptor. *Cell.* 2016 Nov;167(5):1252-1263.e10.