

Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas
Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas (PEDECIBA)
Universidad de la República

Características y predictores del sueño en jóvenes y su relación con el desempeño cognitivo

Mag. Ignacio Estevan

Orientadora:

Dra. Ana Silva

(Facultad de Ciencias, Universidad de la República)

Co-orientadora:

Dra. Céline Vetter

(Department of Integrative Physiology, University of Colorado Boulder, EEUU)

Tribunal:

Dr. Pablo Torterolo

(Facultad de Medicina, Universidad de la República)

Dr. Horacio de la Iglesia

(Department of Biology, University of Washington, EEUU)

Dr. Fernando Louzada

(Departamento de Fisiologia, Universidade Federal do Paraná, Brasil)

Marzo 2022

Esta Tesis de Doctorado fue realizada con el apoyo de la beca para estudios de posgrado de la Agencia Comisión Académica de Posgrados de la Udelar. Además, parte del equipamiento utilizado fue adquirido con la alícuota para estudiantes del PEDECIBA y con la financiación de CSIC grupos i+d. La Comisión Sectorial de Investigación científica también financió las pasantías realizadas durante el Doctorado.

Agradecimientos

A todos los estudiantes que participaron, y las familias de los adolescentes que otorgaron su aval para que participaran.

A los integrantes del Tribunal por su lectura, sus comentarios, y sus sugerencias.

A mis orientadoras y colaboradoras Ana Silva, Bettina Tassino y Céline Vetter, por acompañarme y cincharme hasta llegar aquí.

A Natalia Coirolo por compartir su trabajo.

A todo el grupo de investigación en Cronobiología, por sus valiosas discusiones y aportes.

A Emilia por supuesto, a las distancias.

Resumen

Muchas consecuencias de una sociedad 24/7 están a la vista: somnolencia, accidentes, peor rendimiento, y afectaciones a largo plazo en la salud mental y física. Conocer los factores biológicos, sociales, ambientales y comportamentales que contribuyen a predecir las características del sueño se ha vuelto un asunto muy relevante. Además, profundizar en las consecuencias de la falta de sueño suma evidencias para promover cambios en el comportamiento de los jóvenes y en el funcionamiento de las instituciones de cara a alcanzar mejoras en el sueño. En la investigación que sustenta esta tesis me propuse conocer el comportamiento de sueño en jóvenes uruguayos utilizando instrumentos objetivos y novedosos, y abordar algunas de sus consecuencias. Para esto, se probaron y adaptaron bibliotecas para el procesamiento de registros de acelerometría y exposición a luz para determinar el patrón de sueño nocturno, distintas métricas de exposición a luz, y también de niveles de actividad física. Los resultados se presentan organizados en tres capítulos. Primero, utilizando registros de 15 adolescentes liceales durante vacaciones y la vuelta a clases con un calendario extremadamente irregular de clases virtuales y presenciales y con horarios de ingreso muy variables, se estudió el patrón de sueño y de exposición a luz en días de vacaciones, libres y liceales. Además, se estudió la asociación del tipo de día y la luz diaria sobre el inicio, final y duración del sueño, y la del sueño y el tipo de día con la exposición diaria a luz. Los resultados muestran que los horarios académicos tienen un gran impacto en el comportamiento de sueño, adelantándolo y reduciendo su duración. Además, se halló una relación bidireccional entre el patrón de sueño y la exposición diaria a la luz: mientras la mayor intensidad de luz adelantaba el sueño y extendía su duración, el retraso en el final de sueño disminuía la exposición luz. Por otro lado, se estudió en 31 adultos jóvenes estudiantes de las Escuelas de Formación Artística (END-SODRE, Ministerio de Educación y Cultura, Uruguay) la asociación de los turnos de entrenamiento con el patrón diario de exposición a luz y actividad física y con el uso de alarmas para despertar, utilizando acelerómetros y diarios de sueño. La ubicación de las actividades durante la vigilia estuvo asociada con el patrón diario de exposición a luz y en el de actividad física, y también con el uso de alarmas para despertar. El patrón diario de sueño varió en asociación con múltiples factores: en los días libres el sueño era más retrasado; también era más retrasado en los que asistían al turno nocturno; las alarmas adelantaron el despertar y redujeron la duración del sueño; la mayor exposición a luz, particularmente en la mañana, se asoció con un inicio de sueño adelantado y una mayor duración; la luz y el ejercicio

nocturno tuvieron un efecto contrario retrasando y/o reduciendo el sueño. Por último, se estudió mediante cuestionarios la asociación de una prueba con el sueño de 349 estudiantes universitarios de primer año de Facultad de Ciencias y Psicología, y la asociación de la duración de sueño previa con el rendimiento en la prueba. Se observó que los estudiantes reducen el sueño antes de una prueba, con un 15% que incluso no duerme, aunque la reducción varía con el horario de la prueba y aumenta a medida que el inicio es más tarde. La duración de sueño mostró una asociación positiva con la proporción de respuestas correctas en las pruebas. Utilizando distintos instrumentos, enfoques y análisis, los resultados de esta tesis constituyen un aporte al conocimiento de los factores que influyen en el patrón de sueño de los jóvenes uruguayos, muchos de los cuales pueden ser utilizados para realizar intervenciones que mejoren su sueño, de modo mejorar su bienestar y su funcionamiento diario.

Abstract

Many consequences of a 24/7 society are noticeable: drowsiness, accidents, poor performance, and long-term impairments on mental and physical health. Understanding the biological, social, environmental, and behavioral factors that contribute to predicting sleep characteristics has become a relevant issue. In addition, deepening in the consequences of sleep deprivation adds evidence to promote changes in the behavior of young people and in the functioning of institutions to achieve better sleep. In the research that supports this dissertation, I aimed to study the sleep behavior of Uruguayan youngsters using objective and innovative instruments, and to address some of the consequences of poor sleep. For this purpose, I tested and adapted libraries for the processing of accelerometry and light exposure recordings to determine the nocturnal sleep pattern, different metrics of light exposure, and physical activity levels. The results of this dissertation are organized in three main chapters. First, I recorded 15 high school adolescents during vacations and the subsequent return to school with an extremely irregular calendar of virtual and in person classes that involve highly variable schedules and more days off. I characterized the pattern of sleep and light exposure on vacation days, free days, and school days. I also studied the influence of the type of day and daily light on the beginning, end and duration of sleep, and the influence of sleep and the type of day on daily light exposure. These results showed that academic schedules have a great impact on sleep behavior, advancing it and reducing its duration. In particular, a strong linear association between school start times and awakening was found, which generated a similar relationship with sleep duration. On the other hand, the location of wakefulness and the daily activities during wakefulness influenced the daily pattern of light exposure and physical activity, which in turn ended up influencing sleep: greater light exposure was associated with earlier sleep onset and longer duration. Second, the influence of training shifts was studied in 31 students of the Uruguayan public school for professional training in contemporary and folkloric dance (Escuelas de Formación Artística, END-SODRE, Ministerio de Educación y Cultura, Uruguay), attending two extreme shifts (morning vs night). School shift influenced the daily pattern of light exposure and physical activity and the use of wake-up alarms, measured using accelerometer recordings and sleep logs, respectively. Daily sleep pattern was found to be influenced by multiple factors: on weekends, sleep was more delayed; alarms advanced the sleep end and reduced the sleep duration; greater exposure to light, particularly in the morning, was associated with earlier sleep onset and longer sleep duration; light

and nighttime exercise have the opposite effect, delaying and/or reducing sleep. Finally, I studied the influence of a test on the sleep of 349 first-year university students of the Faculty of Sciences and Psychology by means of questionnaires, and the association of this previous sleep duration with test performance. Students reduced sleep before a test, with almost 15% not sleeping at all, although the reduction varied with the time of the test and increased as its onset was later. Sleep duration showed a positive association with the proportion of correct test answers. Using different instruments, approaches and analyses, the results of this dissertation contribute to understand the factors that influence the sleep habits of young Uruguayans, many of which can be employed to design policies to improve their sleep, their well-being, and daily life.

Índice

Resumen	4
Abstract	6
Índice	8
Capítulo 1. Introducción general	11
1.1. El estado comportamental de sueño.....	11
1.2. Los determinantes del patrón de sueño.....	12
1.3. El sueño y la organización de la enseñanza.....	16
1.4. La importancia del sueño.....	18
1.5. Puntos de partida.....	19
Listado de referencias.....	20
Capítulo 2. Objetivos generales y estrategia de investigación	27
2.1. Objetivos generales.....	27
2.2. Estrategia de investigación.....	27
2.3. Estrategia de análisis.....	29
2.4. Organización de la tesis.....	31
Listado de referencias.....	33
Capítulo 3. Influencias sociales y ambientales en el sueño de los adolescentes durante la pandemia de COVID-19	35
3.1. Hipótesis.....	35
3.2. Objetivos específicos.....	35
3.3. Predicciones.....	35
3.4. Resumen.....	37
Listado de referencias.....	41
Bidirectional association between light exposure and sleep in adolescents.....	42
Challenged by extremely irregular school schedules, adolescents only set their waking time.....	55

Capítulo 4. Turnos, luz y baile: influencias en el sueño de estudiantes de danza	61
4.1. Hipótesis	61
4.2. Objetivos específicos	61
4.3. Predicciones.....	61
4.4. Resumen	63
Listado de referencias	67
The influence of light and physical activity on the timing and duration of sleep: Insights from natural model of dance training in shift	69
Capítulo 5. El sueño de jóvenes universitarios desafiados por una prueba y su asociación con el rendimiento	107
5.1. Hipótesis	107
5.2. Objetivos específicos	107
5.3. Predicciones.....	107
5.4. Resumen	108
Listado de referencias	110
Should I study or should I go (to sleep)? The influence of test schedule on the sleep behaviour of undergraduate students and its association with performance	112
Capítulo 6. Discusión general	122
6.1. Avances metodológicos y en herramientas de análisis	122
6.2. Una mirada integradora.....	124
Listado de referencias	128
Capítulo 7. Contribuciones y perspectivas	130
7.1. Contribuciones directas	130
7.2. Contribuciones indirectas	131
7.3. Pasantías y becas	131
7.4. Formación de investigadores y contribución a la formación de grupos de investigación. ..	132
7.5. Perspectivas	132
Listado de referencias	137
Anexos	139

Capítulo 8. Informe de actividades en el marco de la Pasantía en el Laboratorio de Cronobiología Humana de la Universidad Federal do Paraná	140
8.1. Introducción.....	140
8.2. Actividades desarrolladas	140
8.3. Actividades relacionadas con métodos de análisis.....	141
8.4. Actividades relacionadas con re-análisis de datos	141
8.5. Actividades académicas	143
8.6. Proyectos a futuro	144
Listado de Referencias	145

Capítulo 1.

Introducción general

1.1. El estado comportamental de sueño

El ciclo de sueño-vigilia es un ejemplo de un comportamiento circadiano, es decir, que tiene un período cercano a las 24 horas y que es controlado en parte por un reloj interno puesto en fase o encarrilado por pistas del entorno. El sueño puede caracterizarse por el reposo, la pérdida de consciencia, el aumento en el umbral de los sistemas sensoriales, el presentar una regulación homeostática, y porque es reversible (Carskadon & Dement, 2017). Durante este estado ocurren distintos procesos que son fundamentales para la salud tanto física como mental, el buen desarrollo y el funcionamiento adecuado del organismo, incluido el cognitivo (Killgore, 2010; Luyster, Strollo, Zee, & Walsh, 2012; Walker, 2009).

El sueño puede describirse en base a distintas dimensiones tanto cuantitativas como cualitativas: regularidad, calidad, profundidad, ubicación temporal, eficiencia y duración. En este sentido, existen intentos de definir una salud del sueño -en lugar de hacer énfasis en el déficit o los problemas de sueño- a partir del establecimiento de valores de referencia para estas distintas dimensiones que constituirían un buen sueño (Buysse, 2014). La salud del sueño, entre otras dimensiones, depende de la cantidad de horas de sueño y de su ubicación temporal, cuyos valores de referencia para un buen funcionamiento durante la vigilia varían con características como la edad y el sexo (Hirshkowitz et al., 2015). La ubicación temporal y duración del sueño constituyen el patrón de sueño, el que depende de la capacidad de sueño, es decir, la cantidad de sueño que una determinada persona puede conseguir en un día y momento dado (Tubbs, Dollish, Fernandez, & Grandner, 2019). Además, el patrón de sueño también está condicionado por la cantidad de tiempo disponible para poder dormir, denominado oportunidad de sueño (Tubbs et al., 2019). La buena salud del sueño, incluido un patrón de sueño que satisfaga las necesidades, resulta fundamental para la salud y el bienestar físico y mental (Hale, Troxel, & Buysse, 2020).

1.1.1. El control del ciclo de sueño-vigilia

Un modelo muy aceptado del control del ciclo de sueño-vigilia fue propuesto por Borbély en la década de los '80 (Borbély, 1982; Borbély, Daan, Wirz-Justice, & Deboer, 2016). Según este modelo, existen dos procesos que controlan el patrón de sueño: uno, denominado circadiano, que

está relacionado con los hábitos diurnos o nocturnos del organismo; el otro, denominado homeostático, tiene relación con la extensión de la vigilia previa y el consiguiente aumento de la presión de sueño. Estos dos procesos actúan sobre los sistemas activadores y somnogénicos encargados de generar la vigilia y el sueño, así como la sucesión de las distintas fases del sueño (Scammell, Arrigoni, & Lipton, 2017; Torterolo, Monti, & Vanini, 2019).

El proceso circadiano representa la asociación entre el sistema circadiano y los centros que controlan el sueño (Sanchez, Kalume, & de la Iglesia, 2021). El sistema circadiano está formado por un conjunto distribuido de osciladores bajo el comando de los núcleos supraquiasmáticos, quienes constituyen el oscilador principal y se ubican a nivel hipotalámico (Hastings, Maywood, & Brancaccio, 2018). Este sistema regula la actividad rítmica de distintos procesos fisiológicos, mentales, y comportamentales fundamentales para adaptar a los distintos organismos a los cambios cíclicos de su entorno (Nikhil & Sharma, 2017; Yerushalmi & Green, 2009). Dado que el período de los osciladores endógenos en general no es de 24 h, los osciladores dependen del encarrilamiento por pistas del ambiente. El ciclo de luz oscuridad actúa como el principal *zeitgeber* (dador del tiempo) del sistema circadiano, afectando la fase de este sistema y de los sistemas y comportamientos influidos por él (Gooley, 2017). En particular, son los núcleos supraquiasmáticos quienes reciben información sobre el ciclo de luz oscuridad del entorno a través del haz retino-hipotalámico (Golombek & Rosenstein, 2010; Liu & Panda, 2017).

Se reconoce que existen diferencias individuales en el sistema circadiano y su puesta en fase con el ambiente. Estas diferencias individuales explican en parte la singular ubicación temporal de las actividades que se denomina cronotipo (Adan et al., 2012; Roenneberg, Pilz, Zerbini, & Winnebeck, 2019). Dado que en los días libres la manifestación de los ritmos dictada por el sistema circadiano está menos restringida por el tiempo social, Roenneberg y colaboradores propusieron al punto medio del sueño en días libres como un marcador del cronotipo que expresa la fase del sistema circadiano encarrilado por los distintos *zeitgebers* (Roenneberg, 2012; Roenneberg et al., 2019). Esta medida se muestra robusta y válida al compararla con marcadores de la fase del sistema circadiano (McHill et al., 2021). Trabajos recientes muestran que los marcadores genéticos para el cronotipo también se asocian con distintas medidas de la ubicación temporal del sueño (Jones et al., 2019).

1.2. Los determinantes del patrón de sueño

El ciclo de sueño-vigilia es una constante a lo largo de la vida. Sin embargo, tanto los valores de referencia que determinan la salud del sueño como la capacidad de sueño varían con factores biológicas como la edad y el sexo, mientras que la oportunidad de sueño depende mayormente

de la influencia del ambiente físico y social y también de características y decisiones individuales (Tubbs et al., 2019). Según el marco teórico para los estudios epidemiológicos sobre el sueño de Redline y colaboradores (2019), los determinantes del patrón de sueño que influyen en la capacidad y oportunidad de sueño pueden clasificarse en tres: sociales, ambientales, y comportamentales, que se despliegan a lo largo de la ontogenia.

1.2.1. El sueño durante la ontogenia

A lo largo de la vida se conoce que ocurren variaciones tanto en la ubicación temporal como en la duración del sueño. A partir del trabajo con cuestionarios con decenas de miles de participantes, Roenneberg y colaboradores (2007, 2004) han identificado que el sueño se retrasa durante la adolescencia hasta alrededor de los 20 años, constituyendo un buen marcador del inicio y del final de la adolescencia. Estos resultados fueron replicados recientemente en un extenso meta-análisis de trabajos con acelerometría (Evans et al., 2021), confirmando además lo universal del fenómeno. Existe evidencia que este retraso se debe a cambios que ocurren a nivel del sistema circadiano bajo influjo de las hormonas que asociadas a los cambios puberales, tanto alargando su período endógeno como afectando su sensibilidad a los distintos *zeitgebers* (Tarokh, Short, Crowley, Fontanellaz-Castiglione, & Carskadon, 2019), cambios que son comunes a otros mamíferos también (Hagenauer & Lee, 2013; Hagenauer, Perryman, Lee, & Carskadon, 2009). Por otro lado, también hay evidencia que señala que los cambios puberales afectan al factor homeostático, provocando en una acumulación más lenta de la presión de sueño durante la vigilia retrasando así el momento de dormir (Tarokh et al., 2019).

Según el modelo propuesto por Carskadon y colaboradores de la “tormenta perfecta”, en adolescentes concurren distintos factores que terminan afectando su patrón de sueño (Carskadon, 2011; Crowley, Wolfson, Tarokh, & Carskadon, 2018). Al retraso provocado por los cambios puberales en los sistemas neurobiológicos ya señalados se suma el efecto de los cambios psicosociales (mayor autonomía, vínculos con pares, etc.), lo que entra en conflicto con las demandas sociales, principalmente educativas (Carskadon, 2011; Crowley et al., 2018). Sin embargo y a pesar de dormir más tarde, los jóvenes no tienen una tasa mayor de disipación de la presión de sueño que les permitiría reducir la cantidad de sueño necesario para sostener un buen funcionamiento durante la siguiente vigilia (Fuligni, Bai, Krull, & Gonzales, 2017; Short, Weber, Reynolds, Coussens, & Carskadon, 2018) y las recomendaciones sugieren entre 8 y 10 horas de sueño para los adolescentes y entre 7 y 9 horas para los adultos jóvenes (Hirshkowitz et al., 2015). Por lo tanto, existe una epidemia de bajas duraciones de sueño en jóvenes, el que se ha visto reducido en cerca de 45 minutos a lo largo del último siglo (Matricciani et al., 2017; Matricciani, Olds, & Petkov, 2012).

Además de las diferencias en función de la edad, también se conoce que hay diferencias asociadas al sexo. Los estudios epidemiológicos sobre la ubicación temporal del sueño muestran que los cambios durante la adolescencia ocurren antes en las mujeres, quienes además tienen una orientación más matutina, y que estas diferencias asociadas al sexo disminuyen y desaparecen con la edad (Roenneberg et al., 2007, 2004). Además, distintos estudios genéticos han identificado numerosos alelos vinculados con la ubicación temporal y duración del sueño (Garfield, 2020; Zhang & Fu, 2020), que permiten explicar en parte las diferencias individuales en el sueño. En relación con esto, estudios con gemelos y mellizos muestran que existe una heredabilidad significativa en estas medidas cuantitativas del sueño (Kocevska, Barclay, Bramer, Gehrman, & Van Someren, 2021). Un estudio reciente utilizando acelerometría muestra que la genética y el entorno físico y social reparten su contribución en las distintas medidas del patrón de sueño alrededor de un 50% y 50% (O'Callaghan et al., 2021).

1.2.2. Las influencias sociales en el sueño

Dado que el tiempo a lo largo de un día es finito y el sueño es una más de las actividades para ubicar en la agenda diaria, muchas veces la oportunidad de sueño se ve restringida por el resto de actividades, principalmente en días de semana. Esto se evidencia en la presión que ejercen las actividades de enseñanza que comienzan temprano en la mañana sobre el sueño de los jóvenes (Bowers & Moyer, 2017; Gradisar, Gardner, & Dohnt, 2011), y que determinan la prevalencia en el uso de alarmas para despertar (Shochat, Santhi, Herer, Dijk, & Skeldon, 2021). En general, este déficit de sueño acumulado durante la semana se intenta compensar a través de un incremento en la duración del sueño en los días libres (Hansen, Janssen, Schiff, Zee, & Dubocovich, 2005; Kocevska, Lysen, et al., 2021; Roenneberg & Merrow, 2007). Sin embargo, existe evidencia que sugiere que los días libres no lo son tanto y que los jóvenes podrían tener dificultades para compensar el sueño perdido (Arrona-Palacios, García, & Valdez, 2015; Carvalho-Mendes, Dunster, de la Iglesia, & Menna-Barreto, 2020; Estevan, Silva, Vetter, & Tassinio, 2020).

A medida que avanza la adolescencia la actividad de los jóvenes deja de estar controlada por los padres, adquiriendo mayor autonomía y vínculo con los pares (McElhaney, Allen, Stephenson, & Hare, 2009). La mayor autonomía que tienen para disponer de sus horarios y el menor control parental se asocian con un sueño más retrasado y una menor duración del sueño en jóvenes (Bartel, Gradisar, & Williamson, 2015; Khor, McClure, Aldridge, Bei, & Yap, 2021). También la organización familiar del tiempo se asocia con la ubicación temporal del sueño y su duración, donde se ha identificado que el horario de la cena como uno de los factores que influyen en este estado comportamental (Estevan et al., 2020).

1.2.3. Las influencias del ambiente físico en el sueño

Varios factores ambientales, como distintas formas de polución o la temperatura, pueden afectar las características del sueño (Jackson & Gaston, 2019). Por otro lado, el vínculo entre el sistema circadiano y los sistemas controladores del sueño permite que distintos factores ambientales que sirven de *zeitgebers* influyan también en la ubicación temporal del sueño. El ciclo de luz-oscuridad ha sido ampliamente estudiado como un factor relevante tanto para la calidad, ubicación temporal y cantidad de sueño diario (Blume, Garbazza, & Spitschan, 2019; Prayag, Münch, Aeschbach, Chellappa, & Gronfier, 2019), aunque sus efectos exceden a su acción a través del sistema circadiano. Distintas características de la luz influyen en el sueño, incluyendo la intensidad, la composición, la duración y la temporalidad de la exposición (Prayag et al., 2019; Vetter et al., 2021), y éstas varían según la fuente de luz, la estación del año, y el propio comportamiento de los sujetos. Los estudios sobre la respuesta de la fase circadiana a fuentes de luz aplicadas en distintos momentos del día muestran que durante gran parte de la mañana y de la tarde temprana tiene el efecto de adelantar la fase del sistema circadiano, mientras que a la noche la luz tiene el efecto contrario (Crowley & Eastman, 2017; Kripke, Elliott, Youngstedt, & Rex, 2007). Por lo tanto, la disminución en la exposición diaria a la luz natural durante el día y el aumento en la exposición a luz artificial en la noche se han relacionado con la actual epidemia de déficit de sueño (Czeisler, 2013).

1.2.4. Las influencias del comportamiento en el sueño

La luz es una influencia relevante en el patrón de sueño, y el patrón de exposición a la luz, incluida su intensidad y composición, es a su vez influido por las diferencias en el comportamiento asociadas a los cronotipos y por las regulaciones sociales sobre el tiempo que se pasa al aire libre o expuesto a luz artificial. En adultos se han hallado diferencias en la exposición a luz entre días de trabajo y días libres (Crowley, Molina, & Burgess, 2015; Zerbini, Winnebeck, & Mellow, 2021), lo mismo que en jóvenes entre días de clase y días libres aunque con diferencias entre los distintos turnos educativos (Anacleto, Adamowicz, Simões da Costa Pinto, & Louzada, 2014; Martin, Gaudreault, Perron, & Laberge, 2016). También el uso de distintos dispositivos electrónicos con pantallas emisoras de luz particularmente en la noche se ha asociado con retrasos en el sueño y menor duración y calidad de sueño en jóvenes (Carter, Rees, Hale, Bhattacharjee, & Paradkar, 2016; Chang, Aeschbach, Duffy, & Czeisler, 2015; Hale & Guan, 2015; Lund, Sjølvhøj, Danielsen, & Andersen, 2021; Mei et al., 2018), ya sea tanto para jugar o comunicarse, y tanto por su impacto en el sistema circadiano como por el incremento en la activación del sistema nervioso.

Además, tanto la actividad física como la alimentación pueden actuar directamente como *zeitgebers* del sistema circadiano, y por tanto influir en el patrón de sueño (Lewis, Korf, Kuffer, Groß, & Erren, 2018; Mistlberger & Skene, 2005), con un efecto similar al de la luz en la fase de los ritmos al de la luz. La actividad física es considerada un factor beneficioso para el sueño (Kline et al., 2021), aunque distintas sociedades científicas consideran al ejercicio nocturno como un problema para el sueño (American Sleep Association, 2021; Stepanski & Wyatt, 2003). Esto podría deberse tanto a los efectos señalados sobre el sistema circadiano, pero también a la activación fisiológica asociada al ejercicio que disminuye la presión de sueño (Espie, 2002). Sin embargo, varias revisiones recientes no encontraron asociación entre el ejercicio nocturno y el sueño posterior (Frimpong, Mograss, Zvionow, & Dang-Vu, 2021; Kredlow, Capozzoli, Hearon, Calkins, & Otto, 2015; Stutz, Eiholzer, & Spengler, 2019). Además del ejercicio nocturno, el consumo de distintos estimulantes también afecta tanto al proceso homeostático del sueño (Nehlig, Daval, & Debry, 1992) como al circadiano (Burke et al., 2015), y son utilizados para disminuir la presión de sueño y la somnolencia y retrasar el inicio del sueño (Bartel et al., 2015).

1.3. El sueño y la organización de la enseñanza

Como se señalaba, el horario de inicio de las actividades educativas ha mostrado una fuerte influencia en la ubicación temporal y duración del sueño en adolescentes, que es más adelantado y breve cuanto más temprano sea el horario escolar en la mañana (Bowers & Moyer, 2017; Gradisar et al., 2011). Estos resultados se han confirmado recientemente en estudios que aprovecharon los cambios en la modalidad de enseñanza y en los horarios tanto a nivel liceal como universitario en respuesta a la pandemia de COVID-19 (Leone, Sigman, & Golombek, 2020; Meltzer et al., 2021; Stone et al., 2021; Wright et al., 2020). Ese desajuste entre el horario en que deben realizar las actividades y sus preferencias circadianas es uno de los factores más relevantes para explicar el déficit crónico de sueño en jóvenes (Dunster, Crowley, Carskadon, & de la Iglesia, 2019). Por su parte, la falta de sueño y el tener que estar activos en un momento inadecuado del día tiene consecuencias en el bienestar y el desempeño académico de los jóvenes, que se ha visto mejoran cuando las clases comienzan más tarde (Bowers & Moyer, 2017; Dunster et al., 2018; Mingos & Redeker, 2016). Por esto es que numerosas sociedades científicas recomiendan retrasar el horario de ingreso a las actividades de enseñanza (American Academy of Pediatrics, Committee on Adolescence, & Council on School Health, 2014; American Academy of Sleep Medicine, 2017; August & Rosen, 2020). Además, las propias actividades de enseñanza y las evaluaciones pueden afectar el sueño de los jóvenes (Astill, Verhoeven, Vijzelaar, & Van

Someren, 2013), ya sea a través de aumentar los niveles de estrés y ansiedad (Yap, Slavish, Taylor, Bei, & Wiley, 2020) o porque los estudiantes sacrifican tiempo de sueño para incrementar el de estudio (Hartwig & Dunlosky, 2012).

1.3.1. Los turnos como modelo de estudio

La organización de las actividades en distintos turnos es una solución para aumentar la eficiencia en el uso de recursos, como una instalación fabril o educativa, o para sostener un servicio las 24 horas del día. Esto genera presiones sociales diversas, que obligan a algunas personas a permanecer despiertas en momentos inadecuados del día, con sus consecuencias obvias en el sueño. Así, se ha observado que el sueño está muy deteriorado en trabajadores de turnos atípicos o rotativos, incluidos aquellos turnos que comienzan muy temprano u ocurren en la noche (Kecklund & Axelsson, 2016; Pilcher, Lambert, & Huffcutt, 2000).

En el caso de la educación, los turnos es una forma de organización de las actividades muy frecuente en América Latina y en África, en general asociado al déficit de infraestructura educativa (Bray, 2008). La investigación con jóvenes que asisten en turnos ha permitido conocer en condiciones naturales la influencia de estas distintas presiones sociales en el sueño, las preferencias circadianas y el rendimiento académico. Por ejemplo, se ha identificado que en los turnos más tardíos las preferencias circadianas son más tardías, al igual que el sueño, el que además es de mayor duración por las menores restricciones sociales (Arrona-Palacios et al., 2015; Carisimi et al., 2016; Carvalho-Mendes et al., 2020; Coirolo, Silva, & Tassinio, 2020; Estevan, 2020; Estevan et al., 2020; Goldin, Sigman, Braier, Golombek, & Leone, 2020; Pereira et al., 2016; Valdez, Ramírez, & García, 1996). Estos trabajos representan más evidencia sobre la gran influencia del horario escolar en el sueño de los jóvenes. Por otro lado, los trabajos con turnos también han hallado que las preferencias circadianas matutinas se asocian con un mejor desempeño académico solo en el turno de la mañana (Arrona-Palacios & Díaz-Morales, 2017; Estevan, 2018; Goldin et al., 2020), lo que sugiere que es la falta de sincronía entre la orientación circadiana vespertina y la asistencia a clases temprano la razón del peor desempeño observado en los cronotipos más vespertinos (Preckel, Lipnevich, Schneider, & Roberts, 2011; Tonetti, Natale, & Randler, 2015). La organización en turnos constituye un modelo relevante para los grupos de investigación en cronobiología latinoamericanos, lo que ha sido señalado por Mary Carskadon (2020) como una oportunidad para realizar importantes contribuciones.

Sin embargo, no está claro todo lo que implica la organización escolar en turnos. Es claro que asistir al turno matutino ejerce una mayor presión sobre el despertar que asistir a turnos más tardíos. Pero, además, hay estudios que encuentran diferencias en el patrón de exposición a luz (Anacleto et al., 2014; Martin et al., 2016), lo que también puede influir en el sueño subsiguiente

al actuar sobre el sistema circadiano. Diferencias en la actividad física desplegada en distintos turnos podrían actuar de la misma manera que la luz, pero el trabajo de Malheiros y colaboradores (2021) no encontró diferencias en la actividad física entre jóvenes que asisten a distintos turnos de enseñanza.

1.4. La importancia del sueño

Aunque se ha descrito la presencia del comportamiento de sueño en la mayoría de los animales todavía no está claro su origen evolutivo ni su función (Anafi, Kayser, & Raizen, 2018; Joiner, 2016). Es así que existen numerosas propuestas acerca de cuál es la función de este estado comportamental que se sabe es de vital importancia para el bienestar y la salud física y mental en el ser humano (Czeisler, 2015; Foster, 2020; Li et al., 2021). Además, el sueño es fundamental en todas las etapas de la vida. Distintas revisiones muestran la relevancia del sueño para el bienestar físico como el mental en los primeros años de vida (Chaput et al., 2017) y también en escolares y adolescentes (Chaput et al., 2016; Tarokh, Saletin, & Carskadon, 2016). Pero además el sueño es relevante en el desarrollo y maduración del sistema nervioso durante la niñez (Dutil et al., 2018), y también en la salud de este sistema hacia el final de la vida, pues su interrupción se considera un factor de riesgo para distintas enfermedades neurodegenerativas (Fifel & Videnovic, 2021; Musiek & Holtzman, 2016).

1.4.1. Sueño, cognición y desempeño académico

El sueño adecuado en cantidad, calidad y ubicación temporal es muy relevante para el buen funcionamiento cognitivo durante la vigilia, lo que incluye distintos procesos cognitivos como la atención y las funciones ejecutivas (Killgore, 2010; Short & Chee, 2019; Walker, 2009). En este sentido, el sueño la capacidad de restaurar el desempeño cognitivo que se ve degradado a medida que la vigilia se extiende. En un estudio con más de 10,000 participantes adultos y utilizando varias pruebas cognitivas muy conocidas, Wild y colaboradores (2018) mostraron que el mejor rendimiento se alcanzaba cuando los participantes adultos dormían alrededor de 8 horas de sueño. En general, los trabajos de revisión y meta-análisis en jóvenes también encuentran una asociación significativa pero baja entre la duración de sueño y distintas funciones cognitivas (de Bruin, van Run, Staaks, & Meijer, 2017; Lowe, Safati, & Hall, 2017; Short, Blunden, et al., 2018). Aunque muchos estudios son correlacionales y están realizados en condiciones ecológicas, también los estudios experimentales hallan esa relación (Curcio, Ferrara, & Degennaro, 2006).

Un sueño adecuado es fundamental además para la consolidación de la información como memorias a largo plazo (Diekelmann & Born, 2010; Klinzing, Niethard, & Born, 2019), un proceso que resulta fundamental para que existan aprendizajes. En un ensayo controlado en condiciones

ecológicas con estudiantes escolares, investigadores brasileños probaron que una siesta de más de 30 minutos trae beneficios en los aprendizajes a largo plazo de contenidos académicos (Cabrál et al., 2018). Por otra parte, el sueño inadecuado también se ha asociado a problemas en el comportamiento y las conductas de riesgo (Schmidt & Van der Linden, 2015). Los problemas con el sueño también se han asociado con las inasistencias y la desafiliación de los estudiantes (Pri-chard, 2020). En relación con esto, se ha identificado que la salud del sueño influye en el desempeño académico (Dewald, Meijer, Oort, Kerkhof, & Bögels, 2010; Shochat, Cohen-Zion, & Tzischinsky, 2014). Aunque es necesaria más investigación, las intervenciones sobre la salud del sueño constituyen estrategias valiosas para mejorar los aprendizajes de los jóvenes (Ribeiro & Stickgold, 2014)

1.5. Puntos de partida

El sueño de los jóvenes está desafiado por los cambios neurobiológicos y psicosociales que suceden a partir de la pubertad. En este sentido, la educación constituye uno de los principales factores que moldean el patrón de sueño tanto en su ubicación temporal como en su duración. En América Latina, la masividad impone la necesidad de usar eficientemente la escasa infraestructura a través de la organización de la enseñanza en turnos. Aprovechando este modelo de organización, varios grupos de investigación latinoamericanos han realizado aportes significativos del impacto de los turnos de enseñanza en el sistema circadiano y en el sueño, pero es necesario continuar y profundizar estas investigaciones a través de nuevos y mejores instrumentos y metodologías. En particular, es necesario confirmar los resultados previos (basados mayormente en autorreportes) utilizando medidas objetivas del sueño en jóvenes, así como profundizar en los distintos determinantes del sueño. Además, es posible utilizar el modelo de turnos para estudiar el impacto de las diferencias en la salud del sueño sobre los aprendizajes y el rendimiento académico. De este modo, será posible contar con evidencia que sustente la toma de decisiones de las instituciones y familias y que oriente la educación en salud e higiene del sueño de los jóvenes.

Listado de referencias

- Adan, A., Archer, S. N., Hidalgo, M. P., Di Milia, L., Natale, V., & Randler, C. (2012). Circadian typology: A comprehensive review. *Chronobiology International*, *29*, 1153-1175.
- American Academy of Pediatrics, Committee on Adolescence, & Council on School Health. (2014). School start times for adolescents. *Pediatrics*, *134*, 642-649.
- American Academy of Sleep Medicine. (2017). *Health Advisory: School Start Times*. Recuperado de <https://j2vjt3dnbra3ps7ll1clb4q2-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/10/school-start-times-sleep-health-advisory.pdf>
- American Sleep Association. (2021). Sleep Hygiene Tips, Research & Treatments. Recuperado 16 de agosto de 2021, de American Sleep Association website: <https://www.sleepassociation.org/about-sleep/sleep-hygiene-tips/>
- Anacleto, T. S., Adamowicz, T., Simões da Costa Pinto, L., & Louzada, F. M. (2014). School schedules affect sleep timing in children and contribute to partial sleep deprivation. *Mind, Brain, and Education*, *8*, 169-174.
- Anafi, R. C., Kayser, M. S., & Raizen, D. M. (2018). Exploring phylogeny to find the function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0098-9>
- Arrona-Palacios, A., & Díaz-Morales, J. F. (2017). Morningness-eveningness is not associated with academic performance in the afternoon school shift: Preliminary findings. *British Journal of Educational Psychology*, *88*, 480-498.
- Arrona-Palacios, A., García, A., & Valdez, P. (2015). Sleep-wake habits and circadian preference in Mexican secondary school. *Sleep Medicine*, *16*, 1259-1264.
- Astill, R. G., Verhoeven, D., Vijzelaar, R. L., & Van Someren, E. J. W. (2013). Chronic stress undermines the compensatory sleep efficiency increase in response to sleep restriction in adolescents. *Journal of Sleep Research*, *22*, 373-379.
- August, J., & Rosen, D. (2020). Advances and Current Issues in Adolescent Sleep. *Current Pediatrics Reports*, *8*, 105-114.
- Bartel, K. A., Gradisar, M., & Williamson, P. (2015). Protective and risk factors for adolescent sleep: A meta-analytic review. *Sleep Medicine Reviews*, *21*, 72-85.
- Blume, C., Garbazza, C., & Spitschan, M. (2019). Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood. *Somnologie*, *23*, 147-156.
- Borbély, A. A. (1982). A two process model of sleep regulation. *Human Neurobiology*, *1*, 195-204.
- Borbély, A. A., Daan, S., Wirz-Justice, A., & Deboer, T. (2016). The two-process model of sleep regulation: A reappraisal. *Journal of Sleep Research*, *25*, 131-143.
- Bowers, J. M., & Moyer, A. (2017). Effects of school start time on students' sleep duration, daytime sleepiness, and attendance: A meta-analysis. *Sleep Health*, *3*, 423-431.
- Bray, M. (2008). *Double-shift schooling: Design and operation for cost-effectiveness* (3rd ed). Paris: UNESCO.
- Burke, T. M., Markwald, R. R., McHill, A. W., Chinoy, E. D., Snider, J. A., Bessman, S. C., ... Wright, K. P. (2015). Effects of caffeine on the human circadian clock in vivo and in vitro. *Science Translational Medicine*, *7*. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aac5125>
- Buysse, D. J. (2014). Sleep health: Can we define it? Does it matter? *Sleep*, *37*, 9-17.
- Cabral, T., Mota, N. B., Fraga, L., Copelli, M., McDaniel, M. A., & Ribeiro, S. (2018). Post-class naps boost declarative learning in a naturalistic school setting. *Npj Science of Learning*, *3*, 1-4.
- Carissimi, A., Dresch, F., Martins, A. C., Levandovski, R. M., Adan, A., Natale, V., ... Hidalgo, M. P. (2016). The influence of school time on sleep patterns of children and adolescents. *Sleep Medicine*, *19*, 33-39.

- Carskadon, M. A. (2011). Sleep in adolescents: The perfect storm. *Pediatric Clinics of North America*, *58*, 637-647.
- Carskadon, M. A. (2020). The time has come to expand our studies of school timing for adolescents. *Journal of Biological Rhythms*, *35*, 323-324.
- Carskadon, M. A., & Dement, W. C. (2017). Normal human sleep: An overview. En M. H. Kryger, T. Roth, & W. C. Dement (Eds.), *Principles and practice of sleep medicine* (Sixth edition, pp. 15-24). Philadelphia, PA: Elsevier.
- Carter, B., Rees, P., Hale, L., Bhattacharjee, D., & Paradkar, M. S. (2016). Association between portable screen-based media device access or use and sleep outcomes: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Pediatrics*, *170*, 1202.
- Carvalho-Mendes, R. P., Dunster, G. P., de la Iglesia, H. O., & Menna-Barreto, L. (2020). Afternoon school start times abolish social jetlag and increase sleep duration in adolescents. *Journal of Biological Rhythms*, *35*, 377-390.
- Chang, A.-M., Aeschbach, D., Duffy, J. F., & Czeisler, C. A. (2015). Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *112*, 1232-1237.
- Chaput, J.-P., Gray, C. E., Poitras, V. J., Carson, V., Gruber, R., Birken, C. S., ... Tremblay, M. S. (2017). Systematic review of the relationships between sleep duration and health indicators in the early years (0–4 years). *BMC Public Health*, *17*, 855.
- Chaput, J.-P., Gray, C. E., Poitras, V. J., Carson, V., Gruber, R., Olds, T., ... Tremblay, M. S. (2016). Systematic review of the relationships between sleep duration and health indicators in school-aged children and youth. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *41*, S266-S282.
- Coirolo, N., Silva, A., & Tassinio, B. (2020). The impact of training shifts in dancers' chronotype and sleep patterns. *Sleep Science*, *13*, 31-35.
- Crowley, S. J., & Eastman, C. I. (2017). Human Adolescent Phase Response Curves to Bright White Light. *Journal of Biological Rhythms*, *32*, 334-344.
- Crowley, S. J., Molina, T. A., & Burgess, H. J. (2015). A week in the life of full-time office workers: Work day and weekend light exposure in summer and winter. *Applied Ergonomics*, *46*, 193-200.
- Crowley, S. J., Wolfson, A. R., Tarokh, L., & Carskadon, M. A. (2018). An update on adolescent sleep: New evidence informing the perfect storm model. *Journal of Adolescence*, *67*, 55-65.
- Curcio, G., Ferrara, M., & Degennaro, L. (2006). Sleep loss, learning capacity and academic performance. *Sleep Medicine Reviews*, *10*, 323-337.
- Czeisler, C. A. (2013). Casting light on sleep deficiency. *Nature*, *497*, S13-S13.
- Czeisler, C. A. (2015). Duration, timing and quality of sleep are each vital for health, performance and safety. *Sleep Health*, *1*, 5-8.
- de Bruin, E. J., van Run, C., Staaks, J., & Meijer, A. M. (2017). Effects of sleep manipulation on cognitive functioning of adolescents: A systematic review. *Sleep Medicine Reviews*, *32*, 45-57.
- Dewald, J. F., Meijer, A. M., Oort, F. J., Kerkhof, G. A., & Bögels, S. M. (2010). The influence of sleep quality, sleep duration and sleepiness on school performance in children and adolescents: A meta-analytic review. *Sleep Medicine Reviews*, *14*, 179-189.
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews. Neuroscience*, *11*, 114-126.
- Dunster, G. P., Crowley, S. J., Carskadon, M. A., & de la Iglesia, H. O. (2019). What Time Should Middle and High School Students Start School? *Journal of Biological Rhythms*, *34*, 576-578.
- Dunster, G. P., Iglesia, L. de la, Ben-Hamo, M., Nave, C., Fleischer, J. G., Panda, S., & Iglesia, H. O. de la. (2018). Sleep-more in Seattle: Later school start times are associated with more sleep and better performance in high school students. *Science Advances*, *4*, eaau6200.

- Dutil, C., Walsh, J. J., Featherstone, R. B., Gunnell, K. E., Tremblay, M. S., Gruber, R., ... Chaput, J.-P. (2018). Influence of sleep on developing brain functions and structures in children and adolescents: A systematic review. *Sleep Medicine Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2018.08.003>
- Espie, C. A. (2002). Insomnia: Conceptual Issues in the Development, Persistence, and Treatment of Sleep Disorder in Adults. *Annual Review of Psychology*, *53*, 215-243.
- Estevan, I. (2018). *Preferencias circadianas, hábitos de sueño y desempeño académico en adolescentes* (Universidad de la República). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Estevan, I. (2020). Psychometric properties of the Morningness/Eveningness Scale for Children among Uruguayan adolescents: The role of school start times. *Biological Rhythm Research*. <https://doi.org/10.1080/09291016.2020.1846284>
- Estevan, I., Silva, A., Vetter, C., & Tassinari, B. (2020). Short sleep duration and extremely delayed chronotypes in Uruguayan youth: The role of school start times and social constraints. *Journal of Biological Rhythms*, *35*, 391-404.
- Evans, M. A., Buysse, D. J., Marsland, A. L., Wright, A. G. C., Foust, J., Carroll, L. W., ... Hall, M. H. (2021). Meta-analysis of age and actigraphy assessed sleep characteristics across the lifespan. *Sleep*. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsab088>
- Fifel, K., & Videnovic, A. (2021). Circadian and Sleep Dysfunctions in Neurodegenerative Disorders—An Update. *Frontiers in Neuroscience*, *14*. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.627330>
- Foster, R. G. (2020). Sleep, circadian rhythms and health. *Interface Focus*, *10*, 20190098.
- Frimpong, E., Mograss, M., Zvionow, T., & Dang-Vu, T. T. (2021). The effects of evening high-intensity exercise on sleep in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 101535.
- Fuligni, A. J., Bai, S., Krull, J. L., & Gonzales, N. A. (2017). Individual Differences in Optimum Sleep for Daily Mood During Adolescence. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 1-11.
- Garfield, V. (2020). Sleep duration: A Review of Genome-wide Association Studies (GWAS) in Adults from 2007 to 2020. *Sleep Medicine Reviews*, 101413.
- Goldin, A. P., Sigman, M., Braier, G., Golombek, D. A., & Leone, M. J. (2020). Interplay of chronotype and school timing predicts school performance. *Nature Human Behaviour*, *4*, 1-10.
- Golombek, D. A., & Rosenstein, R. E. (2010). Physiology of circadian entrainment. *Physiological Reviews*, *90*, 1063-1102.
- Gooley, J. J. (2017). Light Resetting and Entrainment of Human Circadian Rhythms. En V. Kumar (Ed.), *Biological Time-keeping: Clocks, Rhythms and Behaviour* (pp. 297-313). New Delhi: Springer India.
- Gradisar, M., Gardner, G., & Dohnt, H. (2011). Recent worldwide sleep patterns and problems during adolescence: A review and meta-analysis of age, region, and sleep. *Sleep Medicine*, *12*, 110-118.
- Hagenauer, M. H., & Lee, T. M. (2013). Adolescent sleep patterns in humans and laboratory animals. *Hormones and Behavior*, *64*, 270-279.
- 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*, 276-284.
- Hale, L., & Guan, S. (2015). Screen time and sleep among school-aged children and adolescents: A systematic literature review. *Sleep Medicine Reviews*, *21*, 50-58.
- Hale, L., Troxel, W., & Buysse, D. J. (2020). Sleep Health: An Opportunity for Public Health to Address Health Equity. *Annual Review of Public Health*, *41*, 81-99.
- Hansen, M., Janssen, I., Schiff, A., Zee, P. C., & Dubocovich, M. L. (2005). The impact of school daily schedule on adolescent sleep. *Pediatrics*, *115*, 1555-1561.

- Hartwig, M. K., & Dunlosky, J. (2012). Study strategies of college students: Are self-testing and scheduling related to achievement? *Psychonomic Bulletin & Review*, *19*, 126-134.
- Hastings, M. H., Maywood, E. S., & Brancaccio, M. (2018). Generation of circadian rhythms in the suprachiasmatic nucleus. *Nature Reviews Neuroscience*. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0026-z>
- Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., ... Ware, J. C. (2015). National Sleep Foundation's updated sleep duration recommendations: Final report. *Sleep Health*, *1*, 233-243.
- Jackson, C. L., & Gaston, S. A. (2019). The impact of environmental exposures on sleep. En M. A. Grandner (Ed.), *Sleep and Health* (pp. 85-103). Elsevier.
- Joiner, W. J. (2016). Unraveling the Evolutionary Determinants of Sleep. *Current Biology*, *26*, R1073-R1087.
- Jones, S. E., Lane, J. M., Wood, A. R., van Hees, V. T., Tyrrell, J., Beaumont, R. N., ... Weedon, M. N. (2019). Genome-wide association analyses of chronotype in 697,828 individuals provides insights into circadian rhythms. *Nature Communications*, *10*. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08259-7>
- Kecklund, G., & Axelsson, J. (2016). Health consequences of shift work and insufficient sleep. *BMJ*, *355*, i5210.
- Khor, S. P. H., McClure, A., Aldridge, G., Bei, B., & Yap, M. B. H. (2021). Modifiable parental factors in adolescent sleep: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, *56*, 101408.
- Killgore, W. D. S. (2010). Effects of sleep deprivation on cognition. En G. A. Kerkhof & H. P. A. van Dongen (Eds.), *Progress in Brain Research* (Vol. 185, pp. 105-129). Elsevier.
- Kline, C. E., Hillman, C. H., Bloodgood Sheppard, B., Tennant, B., Conroy, D. E., Macko, R. F., ... Erickson, K. I. (2021). Physical activity and sleep: An updated umbrella review of the 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee report. *Sleep Medicine Reviews*, *58*, 101489.
- Klinzing, J. G., Niethard, N., & Born, J. (2019). Mechanisms of systems memory consolidation during sleep. *Nature Neuroscience*, *22*, 1598-1610.
- Kocevska, D., Barclay, Nicola. L., Bramer, W. M., Gehrman, P., & Van Someren, E. J. W. (2021). Heritability of Sleep Duration and Quality: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 101448.
- Kocevska, D., Lysen, T. S., Dotinga, A., Koopman-Verhoeff, M. E., Luijk, M. P. C. M., Antypa, N., ... Tiemeier, H. (2021). Sleep characteristics across the lifespan in 1.1 million people from the Netherlands, United Kingdom and United States: A systematic review and meta-analysis. *Nature Human Behaviour*, *5*, 113-122.
- Kredlow, M. A., Capozzoli, M. C., Hearon, B. A., Calkins, A. W., & Otto, M. W. (2015). The effects of physical activity on sleep: A meta-analytic review. *Journal of Behavioral Medicine*, *38*, 427-449.
- Kripke, D., Elliott, J. A., Youngstedt, S. D., & Rex, K. (2007). Circadian phase response curves to light in older and young women and men. *Journal of Circadian Rhythms*, *5*, Art. 4.
- Leone, M. J., Sigman, M., & Golombek, D. A. (2020). Effects of lockdown on human sleep and chronotype during the COVID-19 pandemic. *Current Biology*, R905-R931.
- Lewis, P., Korf, H. W., Kuffer, L., Groß, J. V., & Erren, T. C. (2018). Exercise time cues (zeitgebers) for human circadian systems can foster health and improve performance: A systematic review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, *4*, e000443.
- Li, J., Cao, D., Huang, Y., Chen, Z., Wang, R., Dong, Q., ... Liu, L. (2021). Sleep duration and health outcomes: An umbrella review. *Sleep and Breathing*. <https://doi.org/10.1007/s11325-021-02458-1>
- Liu, Y. H., & Panda, S. (2017). Circadian photoentrainment mechanism in mammals. En V. Kumar (Ed.), *Biological timekeeping: Clocks, rhythms and behaviour* (pp. 365-393). New Delhi: Springer India.
- Lowe, C. J., Safati, A., & Hall, P. A. (2017). The neurocognitive consequences of sleep restriction: A meta-analytic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *80*, 586-604.

- Lund, L., Sølvhøj, I. N., Danielsen, D., & Andersen, S. (2021). Electronic media use and sleep in children and adolescents in western countries: A systematic review. *BMC Public Health, 21*, 1598.
- Luyster, F. S., Strollo, P. J., Zee, P. C., & Walsh, J. K. (2012). Sleep: A Health Imperative. *Sleep, 35*, 727-734.
- Malheiros, L. EA., da Costa, B. GG., Lopes, M. VV., & Silva, K. S. (2021). School schedule affect sleep, but not physical activity, screen time and diet behaviors. *Sleep Medicine*. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2021.06.025>
- Martin, J. S., Gaudreault, M. M., Perron, M., & Laberge, L. (2016). Chronotype, light exposure, sleep, and daytime functioning in High School students attending morning or afternoon school shifts: An actigraphic study. *Journal of Biological Rhythms, 31*, 205-217.
- Matricciani, L., Bin, Y. S., Lallukka, T., Kronholm, E., Dumuid, D., Paquet, C., & Olds, T. (2017). Past, present, and future: Trends in sleep duration and implications for public health. *Sleep Health, 3*, 317-323.
- Matricciani, L., Olds, T., & Petkov, J. (2012). In search of lost sleep: Secular trends in the sleep time of school-aged children and adolescents. *Sleep Medicine Reviews, 16*, 203-211.
- McElhaney, K. B., Allen, J. P., Stephenson, J. C., & Hare, A. L. (2009). Attachment and Autonomy During Adolescence. En *Handbook of Adolescent Psychology*. John Wiley & Sons, Ltd.
- McHill, A. W., Sano, A., Hilditch, C. J., Barger, L. K., Czeisler, C. A., Picard, R., & Klerman, E. B. (2021). Robust stability of melatonin circadian phase, sleep metrics, and chronotype across months in young adults living in real-world settings. *Journal of Pineal Research, 70*. <https://doi.org/10.1111/jpi.12720>
- Mei, X., Zhou, Q., Li, X., Jing, P., Wang, X., & Hu, Z. (2018). Sleep problems in excessive technology use among adolescent: A systemic review and meta-analysis. *Sleep Science and Practice, 2*, 9.
- Meltzer, L. J., Saletin, J. M., Honaker, S. M., Owens, J. A., Seixas, A., Wahlstrom, K. L., ... Carskadon, M. A. (2021). COVID-19 instructional approaches (in-person, online, hybrid), school start times, and sleep in over 5,000 U.S. adolescents. *Sleep*. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsab180>
- Minges, K. E., & Redeker, N. S. (2016). Delayed school start times and adolescent sleep: A systematic review of the experimental evidence. *Sleep Medicine Reviews, 28*, 82-91.
- Mistlberger, R. E., & Skene, D. J. (2005). Nonphotic Entrainment in Humans? *Journal of Biological Rhythms, 20*, 339-352.
- Musiek, E. S., & Holtzman, D. M. (2016). Mechanisms linking circadian clocks, sleep, and neurodegeneration. *Science, 354*, 1004-1008.
- Nehlig, A., Daval, J.-L., & Debry, G. (1992). Caffeine and the central nervous system: Mechanisms of action, biochemical, metabolic and psychostimulant effects. *Brain Research Reviews, 17*, 139-170.
- Nikhil, K. L., & Sharma, V. K. (2017). On the origin and implications of circadian timekeeping: An evolutionary perspective. En V. Kumar (Ed.), *Biological timekeeping: Clocks, rhythms and behaviour* (pp. 81-129). Springer India.
- O'Callaghan, V. S., Hansell, N. K., Guo, W., Carpenter, J. S., Shou, H., Strike, L. T., ... Wright, M. J. (2021). Genetic and environmental influences on sleep-wake behaviors in adolescence. *SLEEP Advances, 2*, zpab018.
- Pereira, É. F., Filipin, D., Barbosa, D. G., Andrade, R. D., Meyer, C., & Louzada, F. M. (2016). Factors associated with short sleep duration in adolescents. *Revista Paulista de Pediatria, 34*, 64-70.
- Pilcher, J. J., Lambert, B. J., & Huffcutt, A. I. (2000). Differential effects of permanent and rotating shifts on self-report sleep length: A meta-analytic review. *Sleep, 23*, 155-163.
- Prayag, A. S., Münch, M., Aeschbach, D., Chellappa, S. L., & Gronfier, C. (2019). Light modulation of human clocks, wake, and sleep. *Clocks & Sleep, 1*, 193-208.
- Preckel, F., Lipnevich, A. A., Schneider, S., & Roberts, R. D. (2011). Chronotype, cognitive abilities, and academic achievement: A meta-analytic investigation. *Learning and Individual Differences, 21*, 483-492.

- Prichard, J. R. (2020). Sleep predicts collegiate academic performance: Implications for equity in student retention and success. *Sleep Medicine Clinics, 15*, 59-69.
- Redline, S., Redline, B., & James, P. (2019). Sleep Epidemiology: An Introduction. En D. T. Duncan, I. Kawachi, & S. Redline (Eds.), *The Social Epidemiology of Sleep* (pp. 11-46). Oxford University Press.
- Ribeiro, S., & Stickgold, R. (2014). Sleep and school education. *Trends in Neuroscience and Education, 3*, 18-23.
- Roenneberg, T. (2012). What is chronotype? *Sleep and Biological Rhythms, 10*, 75-76.
- Roenneberg, T., Kuehne, T., Juda, M., Kantermann, T., Allebrandt, K., Gordijn, M., & Mellow, M. (2007). Epidemiology of the human circadian clock. *Sleep Medicine Reviews, 11*, 429-438.
- Roenneberg, T., Kuehne, T., Pramstaller, P. P., Ricken, J., Havel, M., Guth, A., & Mellow, M. (2004). A marker for the end of adolescence. *Current Biology, 14*, R1038-R1039.
- Roenneberg, T., & Mellow, M. (2007). Entrainment of the human circadian clock. *Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology, 72*, 293-299.
- Roenneberg, T., Pilz, L. K., Zerbini, G., & Winnebeck, E. C. (2019). Chronotype and Social Jetlag: A (Self-) Critical Review. *Biology, 8*, 54.
- Sanchez, R. E. A., Kalume, F., & de la Iglesia, H. O. (2021). Sleep timing and the circadian clock in mammals: Past, present and the road ahead. *Seminars in Cell & Developmental Biology*. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2021.05.034>
- Scammell, T. E., Arrigoni, E., & Lipton, J. O. (2017). Neural Circuitry of Wakefulness and Sleep. *Neuron, 93*, 747-765.
- Schmidt, R. E., & Van der Linden, M. (2015). The Relations Between Sleep, Personality, Behavioral Problems, and School Performance in Adolescents. *Sleep Medicine Clinics, 10*, 117-123.
- Shochat, T., Cohen-Zion, M., & Tzischinsky, O. (2014). Functional consequences of inadequate sleep in adolescents: A systematic review. *Sleep Medicine Reviews, 18*, 75-87.
- Shochat, T., Santhi, N., Herer, P., Dijk, D.-J., & Skeldon, A. C. (2021). Sleepiness is a signal to go to bed: Data and model simulations. *Sleep, 44*, 1-15.
- Short, M. A., Blunden, S., Rigney, G., Matricciani, L., Coussens, S., M. Reynolds, C., & Galland, B. (2018). Cognition and objectively measured sleep duration in children: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Health, 4*, 292-300.
- Short, M. A., & Chee, M. W. L. (2019). Adolescent sleep restriction effects on cognition and mood. En H. P. A. Van Dongen, P. Whitney, J. M. Hinson, K. A. Honn, & M. W. L. Chee (Eds.), *Progress in Brain Research* (pp. 55-71). Elsevier.
- Short, M. A., Weber, N., Reynolds, C., Coussens, S., & Carskadon, M. A. (2018). Estimating Adolescent Sleep Need Using Dose-Response Modelling. *Sleep, 41*.
- Stepanski, E. J., & Wyatt, J. K. (2003). Use of sleep hygiene in the treatment of insomnia. *Sleep Medicine Reviews, 7*, 215-225.
- Stone, J. E., Phillips, A. J. K., Chachos, E., Hand, A. J., Lu, S., Carskadon, M. A., ... Rajaratnam, S. M. W. (2021). In-person vs. home schooling during the COVID-19 pandemic: Differences in sleep, circadian timing, and mood in early adolescence. *Journal of Pineal Research, 71*, e12757.
- Stutz, J., Eiholzer, R., & Spengler, C. M. (2019). Effects of Evening Exercise on Sleep in Healthy Participants: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine, 49*, 269-287.
- Tarokh, L., Saletin, J. M., & Carskadon, M. A. (2016). Sleep in adolescence: Physiology, cognition and mental health. *Neuroscience and biobehavioral reviews, 70*, 182-188.
- Tarokh, L., Short, M., Crowley, S. J., Fontanellaz-Castiglione, C. E. G., & Carskadon, M. A. (2019). Sleep and circadian rhythms in adolescence. *Current Sleep Medicine Reports, 5*, 181-192.

- Tonetti, L., Natale, V., & Randler, C. (2015). Association between circadian preference and academic achievement: A systematic review and meta-analysis. *Chronobiology International*, *32*, 792-801.
- Tortorolo, P., Monti, J. M., & Vanini, G. (2019). Neurochemistry and Pharmacology of Sleep. En E. Murillo-Rodríguez (Ed.), *The Behavioral, Molecular, Pharmacological, and Clinical Basis of the Sleep-Wake Cycle* (pp. 45-83). Waltham, MA: Academic Press.
- Tubbs, A. S., Dollish, H. K., Fernandez, F., & Grandner, M. A. (2019). The basics of sleep physiology and behavior. En M. A. Grandner (Ed.), *Sleep and Health* (pp. 3-10). Elsevier.
- Valdez, P., Ramírez, C., & García, A. (1996). Delaying and extending sleep during weekends: Sleep recovery or circadian effect? *Chronobiology international*, *13*, 191-198.
- Vetter, C., Pattison, P. M., Houser, K., Herf, M., Phillips, A. J. K., Wright, K. P., ... Glickman, G. (2021). A Review of Human Physiological Responses to Light: Implications for the Development of Integrative Lighting Solutions. *LEUKOS*, *0*, 1-28.
- Walker, M. P. (2009). The Role of Sleep in Cognition and Emotion. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1156*, 168-197.
- Wild, C. J., Nichols, E. S., Battista, M. E., Stojanoski, B., & Owen, A. M. (2018). Dissociable effects of self-reported daily sleep duration on high-level cognitive abilities. *Sleep*. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsy182>
- Wright, K. P., Linton, S. K., Withrow, D., Casiraghi, L., Lanza, S. M., Iglesia, H. de la, ... Depner, C. M. (2020). Sleep in University Students Prior to and During COVID-19 Stay-at-Home Orders. *Current Biology*, R797-R798.
- Yap, Y., Slavish, D. C., Taylor, D. J., Bei, B., & Wiley, J. F. (2020). Bi-directional relations between stress and self-reported and actigraphy-assessed sleep: A daily intensive longitudinal study. *Sleep*, *43*. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz250>
- Yerushalmi, S., & Green, R. M. (2009). Evidence for the adaptive significance of circadian rhythms. *Ecology Letters*, *12*, 970-981.
- Zerbini, G., Winnebeck, E. C., & Mellow, M. (2021). Weekly, seasonal, and chronotype-dependent variation of dim-light melatonin onset. *Journal of Pineal Research*, e12723.
- Zhang, L., & Fu, Y.-H. (2020). The molecular genetics of human sleep. *European Journal of Neuroscience*, *51*, 422-428.

Capítulo 2.

Objetivos generales y estrategia de investigación

2.1. Objetivos generales

- Conocer las características y predictores del sueño en jóvenes expuestos a distintas presiones sociales a través del uso de medidas objetivas.
- Estudiar la asociación del déficit de sueño con el rendimiento académico en jóvenes en condiciones ecológicas.

2.2. Estrategia de investigación

El trabajo previo del Grupo de Investigación en Cronobiología (<http://cronobiologia.fcien.edu.uy/>) se ha centrado en el estudio del sueño y las preferencias circadianas de jóvenes estudiantes tanto liceales como universitarios. Como continuación de esos estudios, en esta tesis se trabajó con jóvenes liceales y universitarios buscando la caracterización de su sueño, sus determinantes y sus consecuencias. Los datos para esta tesis fueron colectados durante 2019 y 2020, es decir, antes y después de la llegada de los primeros casos de SARS-COVID-19 al Uruguay, que tuvo un impacto dramático en el funcionamiento de la sociedad y en las posibilidades de trabajo de investigación en campo.

En esta tesis se aborda el sueño de jóvenes uruguayos desde una perspectiva ecológica, haciendo uso de algunas particularidades del sistema educativo uruguayo (masividad y turnos por ejemplo), o de los cambios provocados por la respuesta a la pandemia (virtualidad y extrema variabilidad en los horarios, por ejemplo). Un primer estudio se enfoca en el sueño de adolescentes liceales durante un período de vacaciones y las siguientes semanas de clase, para profundizar en las consecuencias de la agenda académica sobre su sueño (Capítulo 3; Figura 1a). Un segundo trabajo estudia las características del sueño en jóvenes bailarines que se entrenan en dos turnos extremos y además tienen distinta exposición a factores sociales y ambientales (Capítulo 4; Figura 1b). El último trabajo hace foco en los cambios en el sueño antes de una prueba en estudiantes universitarios y sus consecuencias en el rendimiento obtenido (Capítulo 5; Figura 1c).

Esta tesis realiza los primeros registros objetivos de actividad física en adolescentes y jóvenes uruguayos utilizando acelerómetros durante un período prolongado. En ambos casos, el registro fue superior a 2 semanas, abarcando 2 fines de semana al menos (Figura 1a y 1b). El uso de acelerómetros permite obtener medidas más precisas del sueño (Arora, Broglia, Pushpakumar, Lodhi, & Taheri, 2013; Dunster et al., 2018; Jackson, Patel, Jackson, Lutsey, & Redline, 2018; Lauderdale, Knutson, Yan, Liu, & Rathouz, 2008), y medidas repetidas en cada individuo que habilitan a evaluar su variación día a día. El registro de adolescentes abarcó tanto vacaciones como días libres y liceales durante 2020, cuando llegó la pandemia de SARS-COV-2 a Uruguay. La pandemia representó un gran desafío para el trabajo de investigación con humanos, tanto en estudios de laboratorio como ecológicos, particularmente para los grupos y laboratorios dedicados al estudio de la cronobiología y el sueño en humanos. Sin embargo, la propia excepcionalidad del período volvió muy interesantes los datos obtenidos; es más, una gran cantidad de trabajos, muchos muy relevantes, aprovecharon esas condiciones para arrojar nuevas miradas a antiguas preguntas. En esta tesis se aprovechó la extrema variabilidad en los horarios, asistencia y modalidad de enseñanza a nivel de la educación secundaria en Uruguay (Alarcón & Méndez, 2020) para conocer su impacto en el sueño en un grupo de adolescentes.

Previamente, en 2019, se había realizado la colecta de un conjunto vasto de datos de cuestionarios, diarios de sueño, acelerometría y melatonina en bailarines de las Escuelas de Formación Artística (SODRE, Ministerio de Educación y Cultura, Uruguay) (Coirolo, 2021). En esta tesis se partió de los datos colectados de acelerometría y de los diarios de sueño para abordar el estudio del sueño en estos adultos jóvenes que asistían a dos turnos de entrenamiento en horarios extremos: mañana (8:30 a 12:30) y noche (20:00 a 24:00). Además de estudiar la influencia de los turnos en días de entrenamiento y los fines de semana en el sueño, también se estudió la influencia de la exposición a luz y la actividad física obtenidos del registro con acelerómetros, así como del uso de alarmas para despertar.

También en 2019 se había realizado una colecta de datos en estudiantes universitarios utilizando cuestionarios, de modo de obtener un dato preciso del sueño de la noche previa a una prueba en un número grande de estudiantes. Además, los docentes del curso nos facilitaron el número de respuestas correctamente respondidas, para poder analizar la influencia del sueño previo sobre el desempeño académico en esa instancia de evaluación.

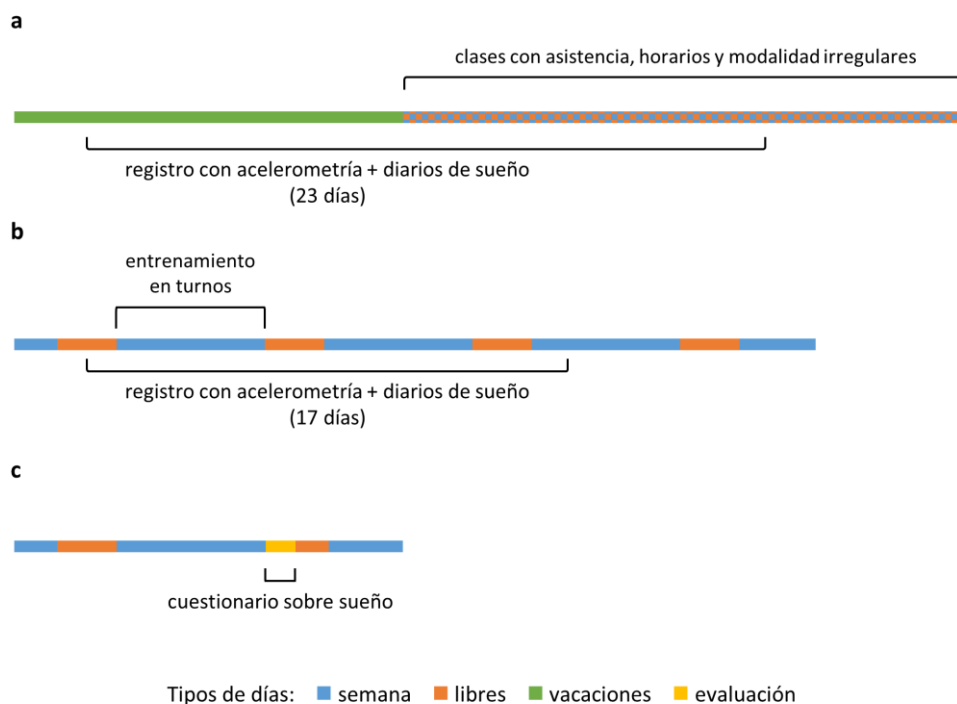


Figura 1. Descripción de los protocolos empleados en la colecta de datos en los tres estudios que componen esta Tesis. a.- Capítulo 3; b.- Capítulo 4; c.- Capítulo 5.

2.3. Estrategia de análisis

El trabajo realizado por el Grupo de Investigación de Cronobiología se ha apoyado en el uso de cuestionarios, diarios y el registro con acelerómetros tanto de la aceleración como de la exposición a luz. Hasta ahora, en la mayoría de los trabajos publicados sobre preferencias circadianas y patrones de sueño se analizaron los datos obtenidos utilizando cuestionarios (Coirolo, Silva, & Tassino, 2020; Estevan, 2020; Estevan, Silva, & Tassino, 2018; Estevan, Silva, Vetter, & Tassino, 2020; Silva et al., 2019; Tassino, Horta, Santana, Levandovski, & Silva, 2016) o diarios de sueño (Coirolo et al., 2020; Silva et al., 2019; Tassino et al., 2016). El Grupo de Investigación adquirió y viene empleando equipos para el registro de acelerometría GENEActiv Original (<https://www.activinsights.com/actigraphy/geneactiv-original/>) que permiten obtener un archivo crudo con formato *.bin* que contiene la información de aceleración lineal, intensidad de luz y temperatura ambiente registrados con la frecuencia de muestreo elegida. A partir de estos registros, el Grupo de Investigación utilizó la información sobre exposición a luz para caracterizar el ambiente físico al que estaban expuestos estudiantes universitarios en Montevideo y durante su viaje a la Antártida (Silva et al., 2019). Por último, en algunos trabajos de tesis recientes ha explorado el procesamiento de los registros de acelerometría para estimar algunas variables

circadianas denominadas no-paramétricas (L5, M10, estabilidad entre días y variabilidad diaria) y de ajuste a una función cosinor (amplitud, acrofase) (Castillo Stratta, 2019; Coirolo, 2021). En esta tesis se buscó continuar los estudios previos con jóvenes utilizando los registros continuos de acelerometría, y además realizar un análisis novedoso de estos registros, tanto en las variables computadas como en los métodos utilizados.

Respecto a la aceleración lineal, los equipos GENEActiv proveen el valor de aceleración en 3 dimensiones (x , y , z) que varían según la ubicación del equipo (muñeca o tobillo, izquierda o derecha), y la suma vectorial de esos 3 valores al que se le resta 1 para compensar la acción de la gravedad (*Euclidean Norm Minus One with negative values rounded to zero*). Muchas empresas que venden equipos de registro además proveen softwares privativos para identificar los períodos de sueño nocturno (su inicio, fin y duración) de manera bastante automática a partir de la aceleración. Sin embargo, al comienzo del trabajo para esta tesis, la empresa fabricante de los equipos GENEActiv solo ofrecía un conjunto de archivos para Excel con *macros* para realizar parte de esta tarea. Más adelante aparecieron en su sitio web algunos archivos con códigos para R pero que no funcionaban correctamente. Así que se optó por utilizar la biblioteca para R GGIR (Migueles, Rowlands, Huber, Sabia, & van Hees, 2019) disponible a través de la web de *The Comprehensive R Archive Network* (<https://cran.r-project.org/web/packages/GGIR/index.html>). Esta biblioteca fue desarrollada por un ex empleado de Activinsights específicamente para trabajar a partir de los archivos crudos que se descargan de los dispositivos. El aporte de este grupo es muy importante, ya que es una biblioteca gratuita y de relativo fácil uso, que está siendo activamente mejorada, y que al ser de código abierto permite conocer en profundidad las funciones empleadas y adaptarlas a los fines buscados por cada investigador. Además de permitir el procesamiento de los archivos crudos, GGIR incluye distintas funciones para calcular varios índices sobre la calidad del registro, valores del patrón y calidad del sueño (van Hees et al., 2015), y también permite calcular algunos valores diarios relacionados con la actividad física (Sabia et al., 2014; van Hees et al., 2013).

El patrón de sueño diario (inicio, final y duración) fue obtenido con la biblioteca GGIR que emplea un algoritmo heurístico, que además toma en cuenta la distribución del cambio en el ángulo z (van Hees et al., 2015, 2018). Este algoritmo reconoce como sueño diario al período más prolongado de quietud con el número más bajo de interrupciones, pero además puede utilizar de guía los datos del diario de sueño para confirmarlo, procedimiento que fue seguido en esta tesis. Además, se desarrolló un algoritmo que permitió calcular el índice de regularidad del sueño propuesto por Phillips y colaboradores (2017) a partir de los valores diarios de sueño nocturno.

La biblioteca GGIR también tiene algoritmos para identificar en el registro continuo períodos con distintos niveles de actividad física (quietud, leve, moderada o intensa) (Sabia et al., 2014; van Hees et al., 2013). Por defecto, esta biblioteca provee los valores diarios, por lo que se hicieron adaptaciones para obtener los valores correspondientes a distintas ventanas temporales además del valor diario.

La información de intensidad media y máxima de luz puede usarse para estimar la media de intensidad de exposición para un determinado período (diarias, por vigilia, una ventana de tiempo en un día o incluso por hora), o los minutos de exposición a intensidades por encima de distintos umbrales para esos mismos períodos. Anteriormente, en el Grupo de Investigación en Cronobiología esta información había sido utilizada para calcular promedios de intensidad en la exposición por hora, que permitieron comparar el patrón de exposición entre Montevideo y la Antártida (Silva et al., 2019). Los estudios sobre exposición a luz y sueño utilizan distintos índices de la exposición a luz, por lo que en esta tesis se exploraron varios de ellos, se identificó que tienen una correlación alta, y se terminó seleccionando la intensidad media de la exposición a luz para la mayoría de los análisis.

En el procesamiento y análisis de los datos se utilizó el software R (R Core Team, 2019) en el entorno RStudio (RStudio Team, 2016). Para el procesamiento de datos se utilizó el conjunto de paquetes del tidyverse (Wickham et al., 2019). Las regresiones generalizadas y las regresiones mixtas (con medidas repetidas, para el análisis del sueño) se realizaron utilizando la biblioteca lme4 (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015). Además, el paquete lmerTest permitió estimar los grados de libertad y los valores de p asociados (Kuznetsova, Brockhoff, & Christensen, 2017). Los valores de pseudo-R² fueron calculados con la biblioteca MuMIn (Barton, 2019). Por último, los gráficos fueron realizados con la biblioteca ggplot (Wickham, 2016).

2.4. Organización de la tesis

Los resultados de esta tesis están organizados en tres capítulos que siguen una misma estructura: una presentación de las hipótesis de trabajo y de los objetivos específicos para evaluarlas; un resumen del trabajo realizado y de los resultados obtenidos; y los artículos publicados o los manuscritos en proceso de publicación asociados con los objetivos descritos. En relación con la doble supervisión por una investigadora nacional y otra extranjera, una parte importante del trabajo se hizo directamente en inglés orientado a su publicación en buenas revistas relevantes en el área, y otra parte consistió en contextualizar estos trabajos con una introducción y una discusión en español que permitan identificar claramente los antecedentes, las principales contribuciones, su discusión y la valoración de cara a futuras investigaciones. Finalmente, la tesis

culmina con una Discusión General en la que se enfatiza cómo estos distintos abordajes se integran para arrojar luz sobre las características y determinantes del sueño en jóvenes y sus consecuencias.

Listado de referencias

- Alarcón, A., & Méndez, G. (2020). *Seguimiento del retorno a las clases presenciales en centros educativos en Uruguay* (p. 60). Uruguay: UNICEF.
- Arora, T., Broglia, E., Pushpakumar, D., Lodhi, T., & Taheri, S. (2013). An investigation into the strength of the association and agreement levels between subjective and objective sleep duration in adolescents. *PLoS One*, *8*, e72406.
- Barton, K. (2019). *MuMIn: Multi-model inference*. Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Castillo Stratta, J. (2019). *Ciclo sueño-vigilia en jóvenes durante el verano en Antártida* (Universidad de la República). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Coirolo, N. (2021). *Los ritmos biológicos de los bailarines: El impacto de los turnos de entrenamiento sobre el cronotipo, fase circadiana y hábitos de sueño*. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Coirolo, N., Silva, A., & Tassinio, B. (2020). The impact of training shifts in dancers' chronotype and sleep patterns. *Sleep Science*, *13*, 31-35.
- Dunster, G. P., Iglesia, L. de la, Ben-Hamo, M., Nave, C., Fleischer, J. G., Panda, S., & Iglesia, H. O. de la. (2018). Sleep-more in Seattle: Later school start times are associated with more sleep and better performance in high school students. *Science Advances*, *4*, eaau6200.
- Estevan, I. (2020). Psychometric properties of the Morningness/Eveningness Scale for Children among Uruguayan adolescents: The role of school start times. *Biological Rhythm Research*. <https://doi.org/10.1080/09291016.2020.1846284>
- Estevan, I., Silva, A., & Tassinio, B. (2018). School start times matter, eveningness does not. *Chronobiology International*, *35*, 1753-1757.
- Estevan, I., Silva, A., Vetter, C., & Tassinio, B. (2020). Short sleep duration and extremely delayed chronotypes in Uruguayan youth: The role of school start times and social constraints. *Journal of Biological Rhythms*, *35*, 391-404.
- Jackson, C. L., Patel, S. R., Jackson, W. B., Lutsey, P. L., & Redline, S. (2018). Agreement between self-reported and objectively measured sleep duration among white, black, Hispanic, and Chinese adults in the United States: Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Sleep*, *41*. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsy057>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, *82*, 1-26.
- Lauderdale, D. S., Knutson, K. L., Yan, L. L., Liu, K., & Rathouz, P. J. (2008). Self-reported and measured sleep duration: How similar are they? *Epidemiology*, *19*, 838-845.
- Migueles, J. H., Rowlands, A. V., Huber, F., Sabia, S., & van Hees, V. T. (2019). GGIR: A research community-driven open source R package for generating physical activity and sleep outcomes from multi-day raw accelerometer data. *Journal for the Measurement of Physical Behaviour*, *2*, 188-196.
- Phillips, A. J. K., Clerx, W. M., O'Brien, C. S., Sano, A., Barger, L. K., Picard, R. W., ... Czeisler, C. A. (2017). Irregular sleep/wake patterns are associated with poorer academic performance and delayed circadian and sleep/wake timing. *Scientific Reports*, *7*, 3216.
- R Core Team. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- RStudio Team. (2016). *RStudio: Integrated development environment for R*. Boston, MA: RStudio, Inc.

- Sabia, S., van Hees, V. T., Shipley, M. J., Trenell, M. I., Hagger-Johnson, G., Elbaz, A., ... Singh-Manoux, A. (2014). Association Between Questionnaire- and Accelerometer-Assessed Physical Activity: The Role of Sociodemographic Factors. *American Journal of Epidemiology*, *179*, 781-790.
- Silva, A., Simón, D., Pannunzio, B., Casaravilla, C., Díaz, Á., & Tassino, B. (2019). Chronotype-dependent changes in sleep habits associated with dim light melatonin onset in the Antarctic summer. *Clocks & Sleep*, *1*, 352-366.
- Tassino, B., Horta, S., Santana, N., Levandovski, R., & Silva, A. (2016). Extreme late chronotypes and social jetlag challenged by Antarctic conditions in a population of university students from Uruguay. *Sleep Science*, *9*, 20-28.
- van Hees, V. T., Gorzelniak, L., León, E. C. D., Eder, M., Pias, M., Taherian, S., ... Brage, S. (2013). Separating Movement and Gravity Components in an Acceleration Signal and Implications for the Assessment of Human Daily Physical Activity. *PLOS ONE*, *8*, e61691.
- van Hees, V. T., Sabia, S., Anderson, K. N., Denton, S. J., Oliver, J., Catt, M., ... Singh-Manoux, A. (2015). A novel, open access method to assess sleep duration using a wrist-worn accelerometer. *PLOS ONE*, *10*, e0142533.
- van Hees, V. T., Sabia, S., Jones, S. E., Wood, A. R., Anderson, K. N., Kivimäki, M., ... Weedon, M. N. (2018). Estimating sleep parameters using an accelerometer without sleep diary. *Scientific Reports*, *8*, 12975.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York.
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., ... Yutani, H. (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, *4*, 1686.

Capítulo 3.

Influencias sociales y ambientales en el sueño de los adolescentes durante la pandemia de COVID-19

3.1. Hipótesis

H1. En los jóvenes uruguayos el reloj biológico está desalineado del reloj social, imponiendo restricciones a la oportunidad de sueño.

H2. En los jóvenes uruguayos la exposición a luz y el patrón de sueño tienen una relación bidireccional.

3.2. Objetivos específicos

- Estudiar con instrumentos objetivos el patrón de sueño en adolescentes liceales y sus variaciones según el calendario académico.
- Adaptar y crear algoritmos para la determinación del sueño, su variabilidad, y la exposición a luz a partir del registro continuo de acelerometría.
- Estudiar la influencia recíproca entre el patrón de sueño y la exposición natural diaria a luz ambiente en adolescentes liceales.

3.3. Predicciones

P1. Las actividades educativas influirán sobre el sueño de los adolescentes adelantándolo y acortándolo comparado con las vacaciones. En los días que no asisten a clases es esperable que la duración del sueño sea mayor respecto a las vacaciones para compensar por el déficit de sueño acumulado en días de clase.

P2. Las clases remotas y el retraso en el horario de inicio estarán asociados con retrasos en el sueño de los adolescentes y aumentos en su duración.

- P3. La mayor exposición a luz influirá en el sueño de los adolescentes adelantándolo y alargándolo, mientras que un sueño más tardío o de mayor duración disminuirá la exposición diaria a luz.

3.4. Resumen

Los jóvenes muestran preferencias por la ubicación temporal del sueño muy tardías (Roenneberg et al., 2004), lo que se relaciona con cambios neurofisiológicos y psicosociales desencadenados con la pubertad y que terminan afectando el sueño que obtienen cada día (Carskadon, 2011; Crowley, Wolfson, Tarokh, & Carskadon, 2018). La duración de sueño en días de semana termina así restringida a raíz del conflicto entre esta vespertinidad de los jóvenes y una oportunidad de sueño acotada por las actividades académicas que comienzan muy temprano (Bowers & Moyer, 2017; Gradisar, Gardner, & Dohnt, 2011). Los antecedentes para Uruguay muestran que el sueño y las preferencias circadianas medidas utilizando cuestionarios de auto-reporte son muy tardías en los adolescentes (Estevan, 2020; Estevan, Silva, Vetter, & Tassinio, 2020), lo que además se asocia con duraciones de sueño cerca de dos horas menores a las recomendadas (Estevan et al., 2020). Por otro lado, comparando entre estudiantes uruguayos que asisten a clase en distintos turnos horarios se halló que los estudiantes que asisten al turno intermedio (ingreso a las 11:30) muestran un sueño más tardío y de mayor duración que sus compañeros de la mañana (ingreso 7:30) (Estevan et al., 2020), otra evidencia de la relevancia de las presiones sociales sobre el sueño de los adolescentes. La luz es el principal *zeitgeber* del sistema circadiano (Gooley, 2017), y a través de este sistema es capaz de influir en la calidad, ubicación temporal y duración del sueño (Blume, Garbazza, & Spitschan, 2019; Prayag, Münch, Aeschbach, Chellappa, & Gronfier, 2019). Trabajos previos en otros países identificaron que la exposición a luz era mayor en días de semana entre adolescentes que asistían en turnos, particularmente en aquellos que asistían en la mañana (Anacleto, Adamowicz, Simões da Costa Pinto, & Louzada, 2014; Martin, Gaudreault, Perron, & Laberge, 2016). En este sentido, el objetivo de este trabajo fue estudiar el patrón de sueño en adolescentes utilizando registros de acelerometría, de modo de confirmar los resultados previos respecto a las bajas duraciones de sueño en jóvenes uruguayos. Además, se buscó determinar el patrón de sueño espontáneo en vacaciones, un período que se espera tengan menos compromisos sociales, o al menos con horarios más flexibles, para utilizar como valor de referencia sobre la necesidad de sueño. Por último, a través del registro continuo de la exposición a luz el tercer objetivo fue estudiar la influencia mutua entre la exposición diaria a luz y el patrón de sueño.

Para este estudio se registró la actividad y exposición a la luz durante 23 días en 15 adolescentes que asistían al liceo en la mañana durante julio-agosto de 2020. El registro correspondió a 11 días de vacaciones de invierno (julio), y los 12 días siguientes donde se alternaban días libres y días con clase. En este período de clases los jóvenes estuvieron expuestos a un calendario muy irregular debido a la pandemia: los grupos de clase originales fueron desdoblados, por lo que cada estudiante tuvo más días libres y horarios más tardíos comparado con el calendario típico,

y además alternaron clases virtuales y presenciales. A partir del registro de aceleración y utilizando la librería GGIR (van Hees et al., 2015) se determinaron los períodos de sueño nocturno, resultando en una muestra de 323 observaciones luego de eliminados 7 días de registro. Además, a partir del registro de exposición a la luz se calcularon distintas métricas que estuvieron fuertemente correlacionadas, escogiéndose para reportar la intensidad media diaria de exposición a luz. El registro continuo y la extrema variabilidad en las presiones sociales permitió estudiar a través de modelos mixtos (utilizando el ID como factor aleatorio) la influencia recíproca entre la exposición a luz (media diaria de intensidad) y el patrón de sueño (inicio, final y duración) en días con distintas presiones sociales (día de vacaciones vs libre vs liceal):

- La influencia en la exposición diaria a luz del tipo de día y del patrón de sueño previo.
- La influencia en el patrón de sueño de la exposición a luz previa y del siguiente tipo de día.

En los modelos se utilizó el \log_{10} de la intensidad diaria media de exposición a luz. Además, considerando solo los datos de sueño previos a días liceales (117 observaciones), se utilizó un modelo similar para estudiar la influencia del horario liceal y la modalidad de enseñanza (virtual vs remota) en el patrón de sueño (inicio, final y duración).

Los resultados mostraron diferencias según el tipo de día tanto en el patrón de exposición a luz como en el sueño, y además se identificó una relación bidireccional entre la exposición a luz y el patrón de sueño. La exposición a luz comenzó antes y fue mayor en días liceales, comparado tanto con días libres o de vacaciones. Al considerar el tipo de día y la hora de despertar ambas resultaron variables significativas (pseudo- R^2 marginal/condicional 0.15/0.33): la intensidad diaria de luz ahora fue mayor en días de vacaciones (2 veces mayor comparada tanto con días libres como días de vacaciones, $p < 0.001$), y la hora de despertar tuvo una relación negativa con la intensidad media de luz diaria (cada hora de retraso disminuía en 22.7% la intensidad media de la exposición). Por su parte, el sueño ocurrió antes y fue más corto en los días libres y estas diferencias fueron todavía mayores en días liceales, y además la duración fue reducida, pues la influencia fue mayor en el inicio que en el final del sueño. Al considerar tanto el tipo de día como la intensidad de luz, ambos factores fueron significativos (inicio del sueño: pseudo- R^2 marginal/condicional 0.34/0.51; final del sueño: pseudo- R^2 marginal/condicional 0.57/0.67; duración del sueño: pseudo- R^2 marginal/condicional 0.25/0.27). Las diferencias entre tipos de día se mantuvieron en este modelo complejo: el inicio del sueño se adelantó en días liceales comparado con los días libres en más de 1 h ($p < 0.001$) y en casi 2 h respecto a los días de vacaciones ($p < 0.001$), y también se adelantó en días libres comparados con los días de vacaciones en casi 1 h ($p < 0.001$); el final de sueño también se adelantó en días liceales comparado con días libres en

casi 3 h ($p < 0.001$) y en casi 4 h comparado con días de vacaciones ($p < 0.001$), mientras que se adelantó en 1 h en días libres comparados con vacaciones ($p < 0.001$); la duración fue menor en más de 1.5 h en días liceales comparado tanto con días libres ($p < 0.001$) y días de vacaciones ($p < 0.001$). Además, la luz tuvo una asociación negativa con el inicio del sueño (un incremento de 10 veces en la exposición a luz adelantó 32 min el inicio del sueño, $p < 0.001$), y positiva con la duración (con un incremento de 10 veces en la exposición a luz la duración de sueño aumentó en 18 min, $p = 0.037$).

Al estudiar solo los días con clase, se observó una asociación lineal entre la modalidad de enseñanza y el horario de ingreso con el final y la duración del sueño (final del sueño pseudo- $R^2 = 0.53/0.64$; duración del sueño pseudo- $R^2 = 0.34/0.50$). Por una parte, la modalidad virtual se asoció con un despertar más de 45 min más tardío ($p < 0.001$), y cada hora de retraso en el horario de inicio de las clases también lo retrasó en más de 30 min ($p < 0.001$). Cuando se evaluó la duración del sueño, la modalidad virtual aumentó en más de 30 min la duración de sueño ($p < 0.001$), y cada hora de retraso en el horario de inicio extendió el sueño en una cantidad similar de min ($p < 0.001$).

Con estos trabajos, se confirmó lo tardío del sueño en los jóvenes uruguayos y la importante influencia de los horarios escolares sobre su duración utilizando registros objetivos. El sueño de los jóvenes, en particular su final y su duración, son muy influidos por las actividades escolares, y gracias a la extrema variabilidad de la enseñanza durante la pandemia, se pudo describir una estrecha relación lineal entre el horario de ingreso y el sueño. La asociación de la exposición a la luz con el patrón de sueño ya se había reportado en estudios de laboratorio que intentaban recrear el sueño en días liceales y en días libres, donde además hallaron que el *onset* de melatonina era más retrasado en días libres con sueño y exposición a luz más retrasados (Crowley & Carskadon, 2010). A pesar de que la exposición a luz natural se asoció con un aumento en la duración de sueño, su influencia no parece suficiente para contrarrestar el impacto de los horarios escolares en una población con una orientación circadiana tan vespertina. Además, no se observa la esperada extensión del sueño en días libres de acuerdo a una respuesta homeostática (el rebote de sueño), al menos considerando solo la duración del sueño nocturno, lo que también se había observado anteriormente (Estevan et al., 2020), sugiriendo que los días libres también impondrían restricciones a la oportunidad de sueño.

En suma, se verificaron las predicciones P1 y P2 respecto a los horarios y la modalidad de enseñanza, que moldean la oportunidad de sueño y el patrón de sueño. Sin embargo, respecto al sueño en los distintos tipos de días, la hipótesis a se refrendó parcialmente: el sueño fue más adelantado y breve en días liceales, pero en los días libres no se observó la extensión esperada

por encima de la duración en vacaciones debida a la deuda de sueño. Finalmente, se verificó la asociación bidireccional entre la exposición a luz y el patrón de sueño de los adolescentes planteada en la predicción P3. Ambas hipótesis fueron refrendadas.

Listado de referencias

- American Academy of Pediatrics, Committee on Adolescence, & Council on School Health. (2014). School start times for adolescents. *Pediatrics*, *134*, 642-649.
- American Academy of Sleep Medicine. (2017). *Health Advisory: School Start Times*. Recuperado de <https://j2vjt3dnbra3ps7ll1clb4q2-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/10/school-start-times-sleep-health-advisory.pdf>
- Anacleto, T. S., Adamowicz, T., Simões da Costa Pinto, L., & Louzada, F. M. (2014). School schedules affect sleep timing in children and contribute to partial sleep deprivation. *Mind, Brain, and Education*, *8*, 169-174.
- Blume, C., Garbazza, C., & Spitschan, M. (2019). Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood. *Somnologie*, *23*, 147-156.
- Bowers, J. M., & Moyer, A. (2017). Effects of school start time on students' sleep duration, daytime sleepiness, and attendance: A meta-analysis. *Sleep Health*, *3*, 423-431.
- Carskadon, M. A. (2011). Sleep in adolescents: The perfect storm. *Pediatric Clinics of North America*, *58*, 637-647.
- Crowley, S. J., & Carskadon, M. A. (2010). Modifications to weekend recovery sleep delay circadian phase in older adolescents. *Chronobiology International*, *27*, 1469-1492.
- Crowley, S. J., Wolfson, A. R., Tarokh, L., & Carskadon, M. A. (2018). An update on adolescent sleep: New evidence informing the perfect storm model. *Journal of Adolescence*, *67*, 55-65.
- Estevan, I. (2020). Psychometric properties of the Morningness/Eveningness Scale for Children among Uruguayan adolescents: The role of school start times. *Biological Rhythm Research*. <https://doi.org/10.1080/09291016.2020.1846284>
- Estevan, I., Silva, A., Vetter, C., & Tassinio, B. (2020). Short sleep duration and extremely delayed chronotypes in Uruguayan youth: The role of school start times and social constraints. *Journal of Biological Rhythms*, *35*, 391-404.
- Gooley, J. J. (2017). Light Resetting and Entrainment of Human Circadian Rhythms. En V. Kumar (Ed.), *Biological Time-keeping: Clocks, Rhythms and Behaviour* (pp. 297-313). New Delhi: Springer India.
- Gradisar, M., Gardner, G., & Dohnt, H. (2011). Recent worldwide sleep patterns and problems during adolescence: A review and meta-analysis of age, region, and sleep. *Sleep Medicine*, *12*, 110-118.
- Martin, J. S., Gaudreault, M. M., Perron, M., & Laberge, L. (2016). Chronotype, light exposure, sleep, and daytime functioning in High School students attending morning or afternoon school shifts: An actigraphic study. *Journal of Biological Rhythms*, *31*, 205-217.
- Prayag, A. S., Münch, M., Aeschbach, D., Chellappa, S. L., & Gronfier, C. (2019). Light modulation of human clocks, wake, and sleep. *Clocks & Sleep*, *1*, 193-208.
- Roenneberg, T., Kuehne, T., Pramstaller, P. P., Ricken, J., Havel, M., Guth, A., & Mellow, M. (2004). A marker for the end of adolescence. *Current Biology*, *14*, R1038-R1039.
- Spruyt, K. (2020). Neurocognitive Effects of Sleep Disruption in Children and Adolescents. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*. <https://doi.org/10.1016/j.chc.2020.08.003>
- Tarokh, L., Short, M., Crowley, S. J., Fontanellaz-Castiglione, C. E. G., & Carskadon, M. A. (2019). Sleep and circadian rhythms in adolescence. *Current Sleep Medicine Reports*, *5*, 181-192.
- van Hees, V. T., Sabia, S., Anderson, K. N., Denton, S. J., Oliver, J., Catt, M., ... Singh-Manoux, A. (2015). A novel, open access method to assess sleep duration using a wrist-worn accelerometer. *PLOS ONE*, *10*, e0142533.

Bidirectional association between light exposure and sleep in adolescents

RESEARCH ARTICLE

Bidirectional association between light exposure and sleep in adolescents

Ignacio Estevan¹  | Bettina Tassinio²  | Céline Vetter³  | Ana Silva⁴ 

¹Programa de Neuropsicología y Neurobiología, Facultad de Psicología, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

²Sección Etología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

³Department of Integrative Physiology, University of Colorado Boulder, Boulder, Colorado, USA

⁴Laboratorio de Neurociencias, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

Correspondence

Ana Silva, Laboratorio de Neurociencias, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Iguá 4225, 14400 Montevideo, Uruguay.
Email: asilva@fcien.edu.uy

Funding information

None.

Summary

Sleep behaviour is controlled by both circadian and homeostatic influences. Changes in both factors are related to the delayed sleep timing observed in adolescence, which also generates restrictions in their sleep duration. In addition, the circadian factor explains part of the observed influence of light on sleep duration. We recorded 15 high-school students for 23 days (vacation: 11 days; school term: 12 days) using GENEactive accelerometers. We employed a repeated-measures analysis to explore the day-to-day bidirectional association between mean light exposure and sleep behaviour across a period with extreme variability in social pressures. Sleep onset was more than 30 min earlier and sleep duration almost 20 min longer when previous day light was 10 times more intense. Light intensity had a reduction of more than 20% as sleep ended 1 hr later. Besides, sleep onset and offset were both later during vacation than on school days (almost 2 hr and 4 hr, respectively) and free days (almost 1 hr, respectively). Therefore, sleep duration was almost 2 hr longer on vacation and free days than on school days. On the other hand, light exposure intensity was twice as high during vacation days when adjusted by sleep timing. Insufficient sleep duration is a major problem for adolescents. Although we found that light exposure was associated with longer sleep duration, the influence of school start times was greater and ended up prevailing, which explained the short sleep durations observed on school days.

KEYWORDS

accelerometry, light intensity, sleep, students

1 | INTRODUCTION

Circadian rhythms have a period of about 24 hr; they are endogenously generated by a circadian system; and although persist in the absence of environmental cues, they are entrained by them (Czeisler & Gooley, 2007). Sleep is the most conspicuous human behavioural circadian rhythm, and is also regulated by the homeostatic factor, which builds up sleep pressure with increasing time awake (Borbély & Achermann, 1999). The circadian system and the homeostatic pressure “gate” the timing of sleep, and it is noteworthy that both these

systems have been shown to be affected by age (Crowley, Wolfson, Tarokh, & Carskadon, 2018). In adolescents, this results in the generally known delay in sleep timing, which has been shown to reverse and advance again in timing from the 20s onwards (Crowley et al., 2014; Roenneberg et al., 2004). In addition, social activities in adolescents such as entertainment and social media (associated to screen exposure; Mei et al., 2018) and late meals (Estevan, Silva, Vetter, & Tassinio, 2020) may reinforce this observed delay in sleep timing.

Among adolescents, school days are associated with earlier sleep timing and sleep restriction (Bowers & Moyer, 2017; Gradisar,

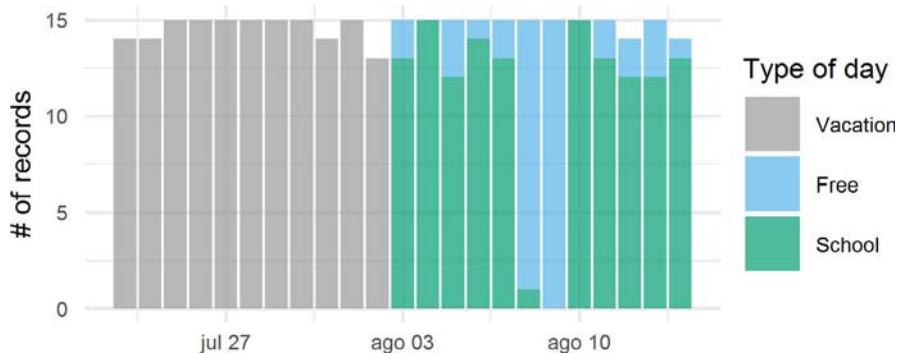


FIGURE 1 Daily records. Bars represent the number of participants recorded in each type of day: vacation (grey), free (blue) and school (green) that were considered in the analysis. Days with number of records below 15 ($n = 7$) correspond to failures in sleep determination. Note that while all participants had the same 11 days of vacation, not all of them had the same school and free days (except for Sunday 9 August, which was a free day for all the participants)

Gardner, & Dohnt, 2011). Early school start times force adolescents to wake up early, and thus to a shortened sleep duration on school days in comparison to weekend or vacation sleep durations (Agostini et al., 2018; Bei et al., 2014; Crowley et al., 2014; Estevan et al., 2020; Hansen, Janssen, Schiff, Zee, & Dubocovich, 2005). Overall, students obtain insufficient sleep during school days and extend their sleep duration at the weekends to compensate their sleep debt. In theory, during long vacation periods, students can achieve a balance between sleep need and actual sleep (Bei et al., 2014).

As described for sleep, light exposure patterns are also different among different types of days. Previous studies in adult populations have reported that light exposure patterns are different between workdays and free days (Crowley, Molina, & Burgess, 2015; Zerbini, Winnebeck, & Mellow, 2021), while others found no difference (Shochat et al., 2019). Only a few studies in children and adolescents attending either morning or afternoon school shifts also showed that participants were exposed to higher light intensities on school days as compared with free days, particularly in the morning (Anacleto, Adamowicz, da Costa, Pinto, & Louzada, 2014; Martin, Gaudreault, Perron, & Laberge, 2016). However, it is not clear if these differences in light exposure as a function of types of days are attributable to the lower chance of being exposed to daylight because of a delayed and longer sleep during weekends (Crowley et al., 2015) or depend on the different types of activities displayed in school and free days (including vacation).

Increasing evidence from laboratory studies support that light exposure affects different aspects of sleep, including its timing, duration, architecture and electroencephalogram profile (Prayag, Münch, Aeschbach, Chellappa, & Gronfier, 2019). When tested in real life conditions, it is generally accepted that lower daily light exposure (due to seasonal, latitudinal or behavioural changes) is associated with delayed sleep (Friborg, Rosenvinge, Wynn, & Gradisar, 2014; Roenneberg, Kantermann, Juda, Vetter, & Allebrandt, 2013; Wright et al., 2013), although findings regarding sleep duration are mixed. For example, prior work has reported that lower light intensity is associated with shorter sleep in both adolescents (Bartel et al.,

2017) and workers (Boubekri, Cheung, Reid, Wang, & Zee, 2014; Figueiro & Rea, 2016). In contrast, it has also been reported that light intensity is negatively associated with sleep duration in adults using actigraphy (Wams et al., 2017), or even to have no influence on sleep duration (Wams et al., 2017; Wright et al., 2013). Overall, light-sleep interactions are far from being understood and require further exploration in natural conditions.

Most previous studies focus on the unidirectional effect of light on sleep patterns, and thus disregard that changes in sleep timing and duration might have important influences on the amount and type of light participants would be exposed to. Our study contributes to filling this gap by evaluating the effects of average light intensity on the next sleep episode, as well as the effects of sleep pattern on subsequent average light intensity. We took advantage of the hybrid education system (in person/remote teaching) implemented in Uruguay after the first SARS-Cov-2 wave in 2020 to evaluate day-by-day light exposure and sleep patterns during a recording period that included vacation days, school days (either in-person or remote) and free days.

2 | METHODS

2.1 | Participants and procedure

Fifteen Uruguayan high-school students (three males) between the ages of 15 and 17 years (mean age 15.9 ± 0.5 years) were equipped with wrist-worn GENEactive original accelerometers (Activinsights) from 23 July 2020 (00:00 hours) to 14 August 2020 (17:59 hours). The study period included 11 days of the 2-week austral winter vacations (from 23 July to 2 August), and the first 12 school days of the second semester school term (Figure 1). Recordings took place in Montevideo ($34^{\circ}54'11''$ S, $56^{\circ}11'17''$ W), where average photoperiod was 10.5 hr (sunrise range: 07:46–07:26 hours; sunset range: 17:56–18:12 hours). Accelerometer and light exposure data were acquired using a 10-Hz sampling

frequency. During the study period, participants also completed a digital daily sleep log, in which they reported about the previous night sleep onset and offset.

Before the SARS-CoV-2 pandemic, participants attended school in-person every weekday. In response to the first detected cases of COVID-19 in March 2020, school activities were reorganized to be remote. Three months later, in-person lessons were partially resumed. Therefore, during the recording period, participants attended a mix of in-person and remote teaching. As a result of the application of this hybrid system, each participant had an individual school calendar with school days (either in-person or remote, with irregular and delayed start times) and free days (not necessarily coincident with weekends). Thus, participants were also asked to report whether they had school (either remote or in-person) or a free day.

All parents provided written informed consent. This study was approved by the Ethics Committee of the School of Psychology, Universidad de la República, and complied with the principles outlined by the Declaration of Helsinki (World Medical Association, 2013).

2.2 | Data analysis

Data were processed and analysed using R Statistical Software in RStudio integrated development environment (RStudio Team, 2016).

Individual accelerometer recordings were processed using GGIR package version 2.1-0 (van Hees et al., 2015) to detect night sleep episodes. Automatic GGIR classification of sustained inactive periods as night sleep was guided by sleep log reports. Sleep duration was calculated from GGIR output as the number of hours between sleep onset and offset. Individual light exposure recordings were converted to 1-min epochs using GENEactive PC Software, divided into daily recording from 00:00 hours to 23:59 hours, and the daily average of light exposure intensity (lux) was calculated as well as the time in minutes each participant spent per day under high light exposure (above 500 lux). In each of the 23 days of recording, light exposure (intensity and duration) and sleep parameters were measured, except for the first day in which sleep was not determined and for the last day in which light exposure was not calculated because accelerometers were removed before midnight.

Two regression analyses were performed (Figure 2). First, we studied the association between sleep timing and duration with previous light exposure and next type of day (orange arrows in Figure 2). Second, we studied the association of light exposure with the type of day (vacation versus free versus school day) and the sleep pattern of the previous night (green arrows in Figure 2). The absence of sleep log data prevented the analysis and classification of seven sleep periods in daily records, and thus 323 observations were included in each analysis (Figure 1), with an average of 21.5 ± 1.1 daily records per participant (range between 18 and 22). For this set of data, school start time grand mean was $09:00 \pm 00:53$ hours (ranging from 07:30 hours to 14:30 hours), and the grand mean of class duration was 4.5 ± 1.4 hr (ranging from 0.75 hr to 12.0 hr).

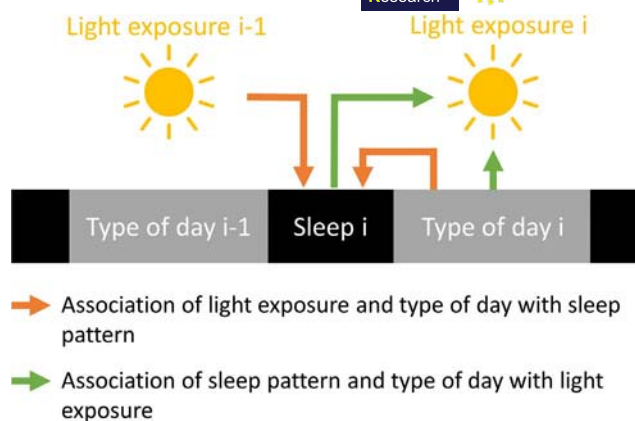


FIGURE 2 Study design. Daily night sleep onset and offset as well as daily average intensity of light exposure were calculated for each participant during 23 successive days. A bidirectional association was analysed: (a) the influence of previous day mean light exposure and subsequent type of day on sleep duration and timing (orange arrows); and (b) the influence of sleep offset and type of day on mean light intensity (green arrows)

Data were statistically analysed using mixed-effects linear regressions using the lme4 package (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015), with id as random effect. For statistical analyses, time was converted to hours, and \log_{10} was applied to light exposure values after a constant of 1 was added. Continuous predictors were mean centred and standardized, and the standardized coefficients (b) \pm standard error together with the associated p -values were reported. Degrees of freedom were calculated via Satterthwaite's method using the lmerTest package (Kuznetsova, Brockhoff, & Christensen, 2017). Calculation of marginal pseudo- R^2 (the proportion of variance explained by the fixed factors) and conditional pseudo- R^2 (the proportion of variance explained by both fixed and random factors) were computed using jtools (Long, 2019). The Tukey method was used in pairwise comparisons between factor levels. In addition, the residuals were plotted and inspected for deviations in normality or homoscedasticity.

3 | RESULTS

As shown in Figure 3, distinctive patterns of light exposure (presented as the mean values of light intensity in 0.5-hr bins through 24 hr) were observed among school, free and vacation days. Average light intensity levels were lower on free and vacation days, when compared with school days (Table S1), although the difference between school and vacation days was not significant (Table S2). On the other hand, distinctive patterns of sleep timing and duration were also observed among school, free and vacation days (Figure 3; Table S1). Sleep on school days was earlier and shorter than on free days, while sleep on free days was earlier than on vacation days, but similar in duration. As illustrated in Figure 3, differences in morning

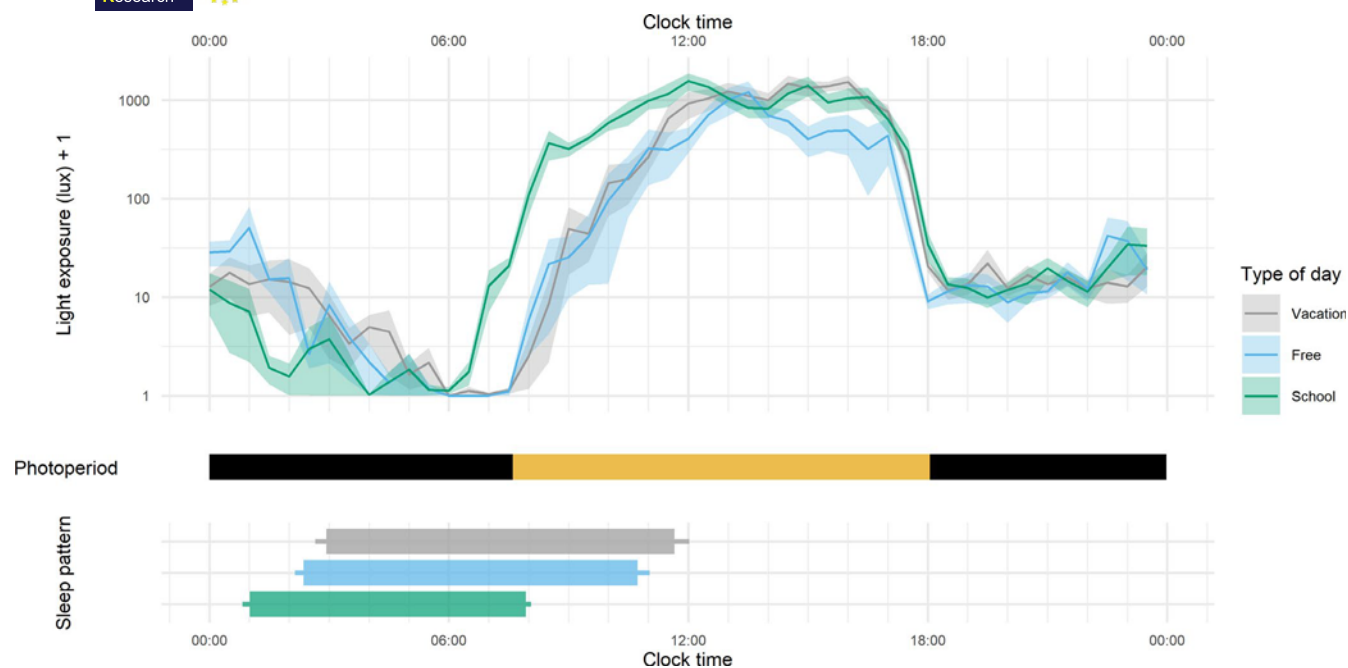


FIGURE 3 Light exposure and sleep pattern by type of day. In the upper graph, light exposure is plotted on a log scale in 30-min bins relative to standard time. A constant of 1 was added to all light intensities. Lines represent the grand average 30-min bins light exposure on vacation (grey), free (blue) and school (green) days, while shaded areas represent the standard error of the mean. The average photoperiod is indicated by the yellow (day) and black (night) bars. In the lower graph, bars represent sleep, and extend from the mean sleep onset to the mean sleep offset in vacation (grey), free (blue) and school (green) days, while lines represent the standard error of the mean

light exposure intensity among types of day seem to track differences in sleep offset.

3.1 | The influence of light exposure and type of day on sleep patterns

The subsequent type of day and the previous day average light intensity influenced sleep timing and duration (orange arrows in Figure 2; Table 1). Compared with vacation days, sleep was earlier on both free and school days. Sleep onset was earlier on both free ($b = -0.8 \pm 0.2, p < 0.001$) and school days ($b = -1.9 \pm 0.1, p < 0.001$) compared with vacation days, and it was also earlier on school versus free days ($b = -1.2 \pm 0.2, p < 0.001$). Sleep offset was shifted earlier on both free ($b = -1.0 \pm 0.2, p < 0.001$) and school days ($b = -3.7 \pm 0.2, p < 0.001$) compared with vacation days, and on school versus free days ($b = -2.7 \pm 0.3, p < 0.001$). As a result, sleep duration was reduced on school days compared with both vacation ($b = -1.8 \pm 0.2, p < 0.001$) and free days ($b = -1.6 \pm 0.3, p < 0.001$), while no difference was observed between vacation and free days ($b = 0.3 \pm 0.2, p = 0.5$).

Higher \log_{10} average light intensity was associated with an earlier following sleep onset when controlling for the type of day (standardized $b = -0.3 \pm 0.1, p < 0.001$). In the original scale, a 10-fold increase in average light exposure was associated with 32 min earlier sleep onset. We did not observe an association of light exposure with the following sleep offset (standardized $b = -0.1 \pm 0.1, p = 0.25$).

As a result, higher light intensity was associated with longer subsequent sleep duration in our population (standardized $b = 0.2 \pm 0.1, p = 0.037$). When described in the original scale, a 10-fold increase in average light exposure was associated with 18 min increase in sleep duration. The interaction terms of type of day and light exposure intensity were not significant (sleep onset: $p = 0.200$; sleep offset: $p = 0.185$; sleep duration: $p = 0.136$). Average daily light intensity and the duration (in minutes) of light exposure above 500 lux were highly correlated ($r = 0.83, p < 0.001$). Therefore, a similar pattern was observed when daily minutes of light exposure above 500 lux was employed to predict the sleep pattern (Table S3).

3.2 | The influence of sleep offset and type of day on light exposure

Daily \log_{10} average light intensity was also influenced by the type of day and the previous night sleep offset (pseudo- $R^2 = 0.15/0.33$; green arrows in Figure 2; Table 2). When differences among type of days were adjusted by sleep timing, \log_{10} average light exposure intensity was reduced in both free ($b = -0.3 \pm 0.1, p < 0.001$) and school days ($b = -0.3 \pm 0.1, p = 0.001$) compared with vacation days. When coefficients were exponentiated, in both free and school days the average light exposure intensity was halved compared with vacation days. No difference was observed between free and school days light exposure intensity ($b = -0.0 \pm 0.1, p = 1.0$). Besides, sleep offset was negatively associated with light exposure intensity as a

TABLE 1 Mixed-effects linear regressions predicting sleep timing and duration from subsequent type of day and previous day mean light exposure intensity

	Sleep onset			Sleep offset			Sleep duration			
	<i>b</i> ± standard error	t	df	<i>b</i> ± standard error	t	df	<i>b</i> ± Standard Error	t	df	<i>p</i>
Intercept	2.9 ± 0.2	14.6	19.8	11.6 ± 0.2	52.7	20.4	8.7 ± 0.1	64.7	44.0	<0.001
Free day	-0.8 ± 0.2	-3.9	311.5	-1.0 ± 0.2	-4.3	311.9	-0.3 ± 0.2	-1.0	320.5	0.296
School day	-1.9 ± 0.1	-13.1	310.0	-3.7 ± 0.2	-22.3	310.2	-1.8 ± 0.2	-10.3	315.6	<0.001
Log ₁₀ light intensity	-0.3 ± 0.1	-4.3	320.7	-0.1 ± 0.1	-1.2	321.5	0.2 ± 0.1	2.1	277.4	0.037
pseudo-R ² marginal/ conditional	0.34/0.51			0.57/0.67			0.25/0.27			

Time was converted to decimal hours. Sleep onset was centred at midnight. Log₁₀ of light intensity +1 was mean centred and scaled, so *b* represents the change in sleep parameters estimated values associated with a standard deviation increase in the log₁₀ of light exposure. Bold indicate statistically significant *p* values < 0.05.

standard deviation delay in sleep offset time also halved the light exposure ($b = -0.3 \pm 0.0, p < 0.001$). When described in the original scales, a 1-hr delay in sleep offset was associated with a 22.7% decrease in average light exposure intensity. Furthermore, controlling by the type of day and in the original scales, a 1-hr delay in sleep offset was related to 18 min less light exposure above 500 lux (Table S4) and almost 20 min delay in the first exposure above that intensity ($p < 0.001$).

4 | DISCUSSION

In this study, we took advantage of a period of extreme variability in social pressures on a group of adolescents generated by classes resuming after winter vacation during the SARS-CoV-2 pandemic to explore the day-to-day associations between light exposure and sleep behaviour. We show, for the first time, evidence of a bidirectional association between sleep pattern and light exposure: sleep was earlier and longer when previous average light exposure was higher and longer; while average light exposure was higher and longer as sleep ended earlier. Furthermore, in vacation days, sleep was later and longer, and the average light exposure (adjusted by the sleep timing) was higher and longer than during the school term.

4.1 | Type of day differences in the sleep behaviour

In line with previous studies using accelerometry data (Agostini et al., 2018; Bei et al., 2014), we show that sleep was later and longer on vacation than on school days. In a review and meta-analysis of accelerometry studies in adolescents comparing weekdays versus weekends, Galland et al. (2018) found similar but smaller differences than the ones we report in this study for free versus school days. Noteworthy, we found that sleep durations on school days were not only shorter than the unrestricted sleep durations observed during vacation days, but also shorter than the sleep duration recommended for the participants' age range (Hirshkowitz et al., 2015). Previous reports show that longer sleep durations are observed when school starts later (Bowers & Moyer, 2017; Gradisar et al., 2011) and in remote classes (Wright et al., 2020). The exceptional conditions of this hybrid educational system (including in-person/remote classes and later school start times) allows us to speculate that the observed sleep deprivation would be probably worse in a regular school schedule, which occurs in a regular regime of 5 days/week with earlier start times. The reduced sleep duration on school days was compensated on free days. However, students did not extend their sleep duration on free days enough to fully compensate the observed sleep debt. This interpretation is based on the observation that although participants overslept on free days, their sleep did not exceed the spontaneous optimal duration observed on vacation days. This lack of full compensation has also been reported by objective sleep measurements between school term and vacation days in

TABLE 2 Mixed-effects linear regression predicting the mean \log_{10} of light exposure intensity from type of day and sleep offset

	<i>b</i> ± Standard error	<i>t</i>	df	<i>p</i>
Intercept	2.4 ± 0.1	31.5	28.3	<0.001
Free day	-0.3 ± 0.1	-4.2	313.3	<0.001
School day	-0.3 ± 0.1	-3.6	321.4	<0.001
Sleep offset	-0.3 ± 0.0	-6.2	322.9	<0.001
pseudo- <i>R</i> ² marginal/conditional	0.15/0.33			

Sleep offset was converted to decimal hours, mean centred and scaled, and so *b* represents the estimated change in the \log_{10} of light exposure associated with a standard deviation delay in sleep offset.

Bold indicate statistically significant *p* values < 0.05.

adolescents (Hansen et al., 2005), and when comparing the self-reported sleep behaviour between school and free days in adolescents attending different school shifts (Arrona-Palacios, García, & Valdez, 2015; Carissimi et al., 2016; Estevan et al., 2020).

4.2 | Type of day differences in the light exposure

Average light exposure was reduced in both free and vacation days in comparison to school days. Previous studies in adults also found this difference in light exposure between weekdays and weekends (Crowley et al., 2015; Zerbini et al., 2021). In our study, however, if light exposure was adjusted by sleep offset, vacation days were the ones with the highest and longer light exposures. This result is due to the strong differences in sleep behaviour among types of days, and to the similar influence (similar standardized coefficients) of both sleep and type of day on light exposure. Thus, delayed and longer sleep on vacation days prevented participants to be exposed to daylight. However, the observation that sleep-adjusted light exposure was higher on vacation days suggests that the kind of activities performed by the participants during vacation days exposed them to higher light intensities than during the school term. A previous study in adolescents found a higher light intensity on weekends compared with weekdays (Read, Collins, & Vincent, 2014), which can be associated to the higher physical activity recorded on weekends. Further studies are needed to explore differences in the pattern of daytime activity in relation to light exposure.

4.3 | Light exposure and sleep behaviour bidirectional association

Among participants, sleep onset was earlier when light intensity was stronger, and sleep duration was consequently longer. This result is in agreement with some previous studies in adolescents (Bartel et al., 2017) and adults (Boubekri et al., 2014; Figueiro & Rea, 2016), although Wams et al. (2017) reported an association in the opposite direction in adults. Although this discrepancy may be partially due to the age of participants (Roenneberg et al., 2015), more studies are needed to fully understand the influence of previous light exposure on sleep.

We show that light exposure was influenced by sleep pattern, as a later sleep offset was associated with lower light exposures. Previous studies in adolescents attending school in different shifts showed consistent results, as morning-shift students were also exposed to higher light intensities than afternoon-shift ones with later sleep timing on school days (Anacleto et al., 2014; Martin et al., 2016). Our long recording and the repeated-measures analysis allowed us to extend this association to vacation and free days, in which there was a greater variation in sleep offset compared with school days.

4.4 | Limitations

First, the reduced number of participants and the voluntary basis of their participation force us to be cautious about the generality of our results. Second, it has been reported that GENEactive accelerometers had a bad light recording performance under 100 lux although having a strong linear relationship with illuminance (Stone, McGlashan, Facer-Childs, Cain, & Phillips, 2020). As we used average values, and given the exponential differences between indoor/artificial and daytime light intensities, the underestimation of low light exposure may not be relevant. In this respect, studying light influences on the individual sensitive windows to light exposure related to individual circadian phase could lead to better and more interesting results. Third, as this was an ecological study, both light exposure intensity, duration and timing were associated and prevented us from being able to discriminate them. Fourth, the number of free days recorded during the school term was small and may explain the different light exposure on free days versus vacation days, when no indoor school activities were present, and when controlling by the sleep pattern. In future studies, it would be important to obtain longer recordings with more free days to allow better comparisons among types of days.

5 | FINAL REMARKS

Insufficient sleep duration is a major problem in modern society, particularly in adolescents, who are more likely to be evening-oriented and thus to sleep and wake late, and who are globally challenged by

early school start times (Crowley et al., 2018). In Uruguayan adolescents, previously reported to be extremely late and sleep deprived during the school term (Estevan, 2020; Estevan et al., 2020), we found that the early sleep offset observed in school days was associated to higher morning light exposures, which in turn induced earlier and longer next sleep episodes. This longer sleep duration could be interpreted as a downstream effect of light-induced phase shifting. Our results thus encourage to test light interventions in the future following recent recommendations of lighting design for typical real-world environments such as schools and colleges (Brown et al., 2020), which will probably ameliorate chronic sleep deprivation of adolescents. However, this light effect seems not enough to counteract the extreme delayed chronotypes observed in the Uruguayan youngsters or to allow them to attain a sufficient sleep duration on school nights, when early school start times is the major challenge for adolescents' sleep.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the students that kindly volunteered as participants of this study. This research was funded by CSIC, Universidad de la República, Uruguay, Programa de Grupos I+D – 2018 # 92. Ignacio Estevan was supported by a scholarship from Comisión Académica de Posgrados, Universidad de la República, Uruguay.

CONFLICT OF INTEREST

None.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

IE, BT, and AS designed research. BT, CV, and AS supervised research. IE collected, processed, analyzed data, and wrote the first version of the manuscript. All authors contributed to the writing of the manuscript.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

ORCID

Ignacio Estevan  <https://orcid.org/0000-0003-4743-1310>

Bettina Tassinio  <https://orcid.org/0000-0003-2946-3888>

Céline Vetter  <https://orcid.org/0000-0002-3752-1067>

Ana Silva  <https://orcid.org/0000-0003-2890-0353>

REFERENCES

Agostini, A., Pignata, S., Camporeale, R., Scott, K., Dorrian, J., Way, A., ... Lushington, K. (2018). Changes in growth and sleep across school nights, weekends and a winter holiday period in two Australian schools. *Chronobiology International*, 35(5), 691–704. <https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1430037>

Anacleto, T. S., Adamowicz, T., da Costa, S., Pinto, L., & Louzada, F. M. (2014). School schedules affect sleep timing in children and contribute to partial sleep deprivation. *Mind, Brain, and Education*, 8(4), 169–174. <https://doi.org/10.1111/MBE.12057>

Arrona-Palacios, A., García, A., & Valdez, P. (2015). Sleep-wake habits and circadian preference in Mexican secondary school. *Sleep Medicine*, 16(10), 1259–1264. <https://doi.org/10.1016/J.SLEEP.2015.05.026>

Bartel, K., van Maanen, A., Cassoff, J., Friberg, O., Meijer, A. M., Oort, F., ... Gradisar, M. (2017). The short and long of adolescent sleep: The unique impact of day length. *Sleep Medicine*, 38, 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2017.06.018>

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

Bei, B., Allen, N. B., Nicholas, C. L., Dudgeon, P., Murray, G., & Trinder, J. (2014). Actigraphy-assessed sleep during school and vacation periods: A naturalistic study of restricted and extended sleep opportunities in adolescents. *Journal of Sleep Research*, 23(1), 107–117. <https://doi.org/10.1111/jsr.12080>

Borbély, A. A., & Achermann, P. (1999). Sleep homeostasis and models of sleep regulation. *Journal of Biological Rhythms*, 14(6), 557–568.

Boubekri, M., Cheung, I. N., Reid, K. J., Wang, C.-H., & Zee, P. C. (2014). Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: A case-control pilot study. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 10(06), 603–611. <https://doi.org/10.5664/jcs.m.3780>

Bowers, J. M., & Moyer, A. (2017). Effects of school start time on students' sleep duration, daytime sleepiness, and attendance: A meta-analysis. *Sleep Health*, 3(6), 423–431. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2017.08.004>

Brown, T., Brainard, G., Cajochen, C., Czeisler, C., Hanifin, J., Lockley, S., & Jr, K. W. (2020). *Recommendations for Healthy Daytime, Evening, and Night-Time Indoor Light Exposure*. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202012.0037.v1>

Carissimi, A., Dresch, F., Martins, A. C., Levandovski, R. M., Adan, A., Natale, V., ... Hidalgo, M. P. (2016). The influence of school time on sleep patterns of children and adolescents. *Sleep Medicine*, 19, 33–39. <https://doi.org/10.1016/J.SLEEP.2015.09.024>

Crowley, S. J., Molina, T. A., & Burgess, H. J. (2015). A week in the life of full-time office workers: Work day and weekend light exposure in summer and winter. *Applied Ergonomics*, 46, 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.08.006>

Crowley, S. J., Van Reen, E., LeBourgeois, M. K., Acebo, C., Tarokh, L., Seifer, R., ... Carskadon, M. A. (2014). A longitudinal assessment of sleep timing, circadian phase, and phase angle of entrainment across human adolescence. *PLoS ONE*, 9(11), e112199. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0112199>

Crowley, S. J., Wolfson, A. R., Tarokh, L., & Carskadon, M. A. (2018). An update on adolescent sleep: New evidence informing the perfect storm model. *Journal of Adolescence*, 67, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2018.06.001>

Czeisler, C. A., & Gooley, J. J. (2007). Sleep and circadian rhythms in humans. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 72(1), 579–597. <https://doi.org/10.1101/SQB.2007.72.064>

Estevan, I. (2020). Psychometric properties of the Morningness/Eveningness Scale for Children among Uruguayan adolescents: The role of school start times. *Biological Rhythm Research*. <https://doi.org/10.1080/09291016.2020.1846284>

Estevan, I., Silva, A., Vetter, C., & Tassinio, B. (2020). Short sleep duration and extremely delayed chronotypes in Uruguayan youth: The role of school start times and social constraints. *Journal of Biological Rhythms*, 35(4), 391–404. <https://doi.org/10.1177/0748730420927601>

Figueiro, M., & Rea, M. (2016). Office lighting and personal light exposures in two seasons: Impact on sleep and mood. *Lighting Research & Technology*, 48(3), 352–364. <https://doi.org/10.1177/1477153514564098>

Friberg, O., Rosengvinge, J. H., Wynn, R., & Gradisar, M. (2014). Sleep timing, chronotype, mood, and behavior at an Arctic latitude

- (69°N). *Sleep Medicine*, 15(7), 798–807. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2014.03.014>
- Galland, B. C., Short, M. A., Terrill, P., Rigney, G., Haszard, J. J., Coussens, S., ... Biggs, S. N. (2018). Establishing normal values for pediatric nighttime sleep measured by actigraphy: A systematic review and meta-analysis. *Sleep*, 41(4), zsy017. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsy017>
- Gradisar, M., Gardner, G., & Dohnt, H. (2011). Recent worldwide sleep patterns and problems during adolescence: A review and meta-analysis of age, region, and sleep. *Sleep Medicine*, 12(2), 110–118. <https://doi.org/10.1016/J.SLEEP.2010.11.008>
- Hansen, M., Janssen, I., Schiff, A., Zee, P. C., & Dubocovich, M. L. (2005). The impact of school daily schedule on adolescent sleep. *Pediatrics*, 115(6), 1555–1561. <https://doi.org/10.1542/PEDS.2004-1649>
- Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., ... Ware, J. C. (2015). National Sleep Foundation's updated sleep duration recommendations: Final report. *Sleep Health*, 1(4), 233–243. <https://doi.org/10.1016/J.SLEH.2015.10.004>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*, 82(1), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- Long, J. A. (2019). *jtools: Analysis and Presentation of Social Scientific Data*. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=jtools>
- Martin, J. S., Gaudreault, M. M., Perron, M., & Laberge, L. (2016). Chronotype, light exposure, sleep, and daytime functioning in High School students attending morning or afternoon school shifts: An actigraphic study. *Journal of Biological Rhythms*, 31(2), 205–217. <https://doi.org/10.1177/0748730415625510>
- Mei, X., Zhou, Q., Li, X., Jing, P., Wang, X., & Hu, Z. (2018). Sleep problems in excessive technology use among adolescent: A systemic review and meta-analysis. *Sleep Science and Practice*, 2, 9. <https://doi.org/10.1186/s41606-018-0028-9>
- Prayag, A. S., Münch, M., Aeschbach, D., Chellappa, S. L., & Gronfier, C. (2019). Light modulation of human clocks, wake, and sleep. *Clocks & Sleep*, 1(1), 193–208. <https://doi.org/10.3390/clocks1010017>
- Read, S. A., Collins, M. J., & Vincent, S. J. (2014). Light exposure and physical activity in myopic and emmetropic children. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 91(3), 330–341. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000160>
- Roenneberg, T., Kantermann, T., Juda, M., Vetter, C., & Allebrandt, K. V. (2013). Light and the human circadian clock. In A. Kramer, & M. Meroow (Eds.), *Handbook of experimental pharmacology*, Vol. 217 (pp. 311–331). Springer, Berlin Heidelberg. Retrieved from <http://link.springer.com/> https://doi.org/10.1007/978-3-642-25950-0_13
- Roenneberg, T., Keller, L. K., Fischer, D., Matera, J. L., Vetter, C., & Winnebeck, E. C. (2015). Human activity and rest in situ. *Methods in Enzymology*, 552, 257–283. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2014.11.028>
- Roenneberg, T., Kuehnle, T., Pramstaller, P. P., Ricken, J., Havel, M., Guth, A., & Meroow, M. (2004). A marker for the end of adolescence. *Current Biology*, 14(24), R1038–R1039. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2004.11.039>
- RStudio Team (2016). *RStudio: Integrated development environment for R*. RStudio, Inc. Retrieved from <http://www.rstudio.com/>
- Shochat, T., Santhi, N., Herer, P., Flavell, S. A., Skeldon, A. C., & Dijk, D.-J. (2019). Sleep timing in late autumn and late spring associates with light exposure rather than sun time in college students. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 882. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00882>
- Stone, J. E., McGlashan, E. M., Facer-Childs, E. R., Cain, S. W., & Phillips, A. J. K. (2020). Accuracy of the GENEActiv Device for Measuring Light Exposure in Sleep and Circadian Research. *Clocks & Sleep*, 2(2), 143–152. <https://doi.org/10.3390/clocks1020012>
- van Hees, V. T., Sabia, S., Anderson, K. N., Denton, S. J., Oliver, J., Catt, M., ... Singh-Manoux, A. (2015). A novel, open access method to assess sleep duration using a wrist-worn accelerometer. *PLoS ONE*, 10(11), e0142533. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142533>
- Wams, E. J., Woelders, T., Marring, I., van Rosmalen, L., Beersma, D. G. M., Gordijn, M. C. M., & Hut, R. A. (2017). Linking light exposure and subsequent sleep: A field polysomnography study in humans. *Sleep*, 40, zsx165. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsx165>
- World Medical Association (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/JAMA.2013.281053>
- Wright, K. P., Linton, S. K., Withrow, D., Casiraghi, L., Lanza, S. M., Iglesia, H. D. L., ... Depner, C. M. (2020). Sleep in University Students Prior to and During COVID-19 Stay-at-Home Orders. *Current Biology*, R797–R798. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.06.022>
- Wright, K. P. Jr, McHill, A. W., Birks, B. R., Griffin, B. R., Rusterholz, T., & Chinoy, E. D. (2013). Entrainment of the human circadian clock to the natural light-dark cycle. *Current Biology*, 23(16), 1554–1558. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2013.06.039>
- Zerbini, G., Winnebeck, E. C., & Meroow, M. (2021). Weekly, seasonal, and chronotype-dependent variation of dim-light melatonin onset. *Journal of Pineal Research*, 70, e12723. <https://doi.org/10.1111/jpi.12723>

SUPPORTING INFORMATION

Additional supporting information may be found in the online version of the article at the publisher's website.

How to cite this article: Estevan, I., Tassinio, B., Vetter, C., & Silva, A. (2021). Bidirectional association between light exposure and sleep in adolescents. *Journal of Sleep Research*, 00, e13501. <https://doi.org/10.1111/jsr.13501>

Table S1. Sleep pattern and daily light exposure

Next day activities	Recording days per participant ^a	Sleep pattern ^b	Sleep onset	Sleep mid-point	Sleep offset	Sleep duration (h)	Light exposure (lux) ^b
Vacation	9.7 ± 0.8	02:55 ± 01:04	07:17 ± 01:14	11:39 ± 01:26	8.7 ± 0.6	301.6 ± 158.3	
Free	3.0 ± 1.9	02:21 ± 00:51	06:32 ± 00:56	10:43 ± 01:10	8.4 ± 0.8	170.6 ± 159.4	
School	8.8 ± 1.9	01:00 ± 00:43	04:28 ± 00:32	07:55 ± 00:29	6.9 ± 0.6	361.4 ± 213.8	
Total	21.5 ± 1.1	02:01 ± 00:46	05:59 ± 00:48	09:57 ± 00:52	7.9 ± 0.4	311.2 ± 145.9	

^a Mean ± SD

^b Grand mean ± SD

Table S2. Difference between types of day in log₁₀ of light exposure.

	b ± Standard Error	t	df	p
Intercept	2.2 ± 0.1	31.3	21.4	< 0.001
Free day	-0.2 ± 0.1	-2.7	311.9	0.006
School day	0.1 ± 0.1	1.9	309.1	0.054
pseudo-R ² marginal / conditional	0.04/0.23			

Note: Light exposure was lower on free days compared to both vacation (b = -0.2 ± 0.1, p = 0.018) and school days (b = -0.3 ± 0.1, p < 0.001). Although higher, light exposure on school days was not significantly different from vacation days (b = 0.1 ± 0.1, p = 0.13).

Table S3. Mixed-effects linear regressions predicting sleep timing and duration from subsequent type of day and previous day minutes of light exposure above 500 lux.

	Sleep onset			Sleep offset			Sleep duration					
	b ±	t	df	P	b ±	T	df	p	b ±	t	df	p
	Standard Error				Standard Error				Standard Error			
Intercept	2.9 ± 0.2	14.3	19.6	< 0.001	11.6 ± 0.2	52.3	20.4	< 0.001	8.7 ± 0.1	64.2	42.2	< 0.001
Free day	-0.7 ± 0.2	-3.7	311	< 0.001	-1.0 ± 0.2	-4.2	311.5	< 0.001	-0.3 ± 0.2	-1.1	319.6	0.273
School day	-1.9 ± 0.1	-13	310.1	< 0.001	-3.7 ± 0.2	-22.4	310.5	< 0.001	-1.8 ± 0.2	-10.5	315.8	< 0.001
Minutes of light exposure above 500 lux	-0.3 ± 0.1	-4	322.2	< 0.001	-0.0 ± 0.1	-0.1	322.8	0.919	0.2 ± 0.1	2.8	250.6	0.006
pseudo-R ² marginal / conditional	0.34/0.51			0.56/0.67			0.26/0.29					

Note: Time was converted to decimal hours. Sleep onset was centered at midnight. Minutes of light exposure above 500 lux was mean centered and scaled, so b represents the change in sleep parameters estimated values associated with a standard deviation increase in the light exposure.

Table S4. Mixed-effects linear regression predicting the mean minutes of light exposure >500 lux from type of day and sleep offset.

	b ± Standard Error	t	df	p
Intercept	134.1 ± 14.1	9.5	25.8	< 0.001
Free day	-39.8 ± 13.6	-2.9	312.5	0.004
School day	-37.6 ± 14.9	-2.5	320.1	0.012
Sleep offset	-42.3 ± 7.4	-5.7	322.9	< 0.001
pseudo-R ² marginal / conditional	0.13/0.35			

Note: Sleep offset was converted to decimal hours, mean centered and scaled, and so b represents the estimated change in the minutes of light exposure associated with a standard deviation delay in sleep offset. Pairwise comparisons showed that light exposure was longer on vacation days compared to both free (b = 39.8 ± 13.6, p = 0.010) and school days (b = 37.7 ± 14.9, p = 0.032). No difference in minutes of exposure between school and free days (p = 0.990).

**Challenged by extremely irregular school schedules,
adolescents only set their waking time**

BRIEF REPORT

Challenged by extremely irregular school schedules, Uruguayan adolescents only set their waking time

Ignacio Estevan¹  | Bettina Tassinio² | Céline Vetter³ | Ana Silva⁴ 

¹Programa de Neuropsicología y Neurobiología, Facultad de Psicología, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

²Sección Etología; Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

³Department of Integrative Physiology, University of Colorado Boulder, Boulder, Colorado, USA

⁴Laboratorio de Neurociencias, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

Correspondence

Ana Silva, Laboratorio de Neurociencias, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Iguá 4225, 14400 Montevideo, Uruguay.
Email: asilva@fcien.edu.uy

Funding information

CSIC Universidad de la República; CAP, Universidad de la República

Abstract

Introduction: Early school start times adversely influence adolescents' sleep duration. Late school start times and remote learning are associated with longer sleep durations. We leveraged a highly variable school schedule adopted after the first SARS-CoV-2 wave in Uruguay to study the influence of a hybrid mode of instruction (in-person/remote) with irregular school start times on adolescents' sleep.

Methods: Objective sleep on school nights (120 observations) was determined using accelerometry recordings of 15 high-school students (3 males 15–17 years old). We used mixed-effects regressions to explore the influence of the mode of instruction (in-person/remote) and school start time on adolescents' sleep patterns (onset, end, and duration).

Results: An irregular individual regime of 2–6 school days per week, either in-person or remote, and with irregular start times (range: 07:30–12:00) were observed during the studied period. Remote learning delayed sleep end by 48 ± 9 min and increased sleep duration by 36 ± 12 min. In addition, 1 h delay in school start time delayed sleep end in 36 ± 4 min and increased sleep duration in 34 ± 5 min.

Conclusions: A strong linear association of the mode of instruction and the school start time with participants' sleep was observed: Only waking time was associated with both school start time and mode of instruction, and sleep duration increased when students were taught remotely and when school started later. These results add evidence to the effectiveness of delaying school start time to improve adolescents' sleep. However, these efforts may not overcome the influence of a very late circadian orientation, as observed in Uruguayan adolescents.

KEYWORDS

school start time, sleep, teenagers

1 | INTRODUCTION

Early school start times adversely impact adolescents' sleep patterns and restrict their sleep duration, partially because adolescents sleep late (Tarokh et al., 2019). When school start times are routinely delayed both experimentally (Bowers & Moyer, 2017; Minges & Redeker, 2016) or in afternoon school shifts (Estevan et al., 2020), adolescents' sleep duration increase. An improvement in sleep has been also observed in remote synchronous learning during SARS-CoV-2 pandemic, which removed commutes to school (Meltzer et al., 2021; Stone et al., 2021).

The SARS-CoV-2 pandemic forced many educational institutions in Uruguay to reorganize their work to remote instruction, altering daily structure dramatically. After the first SARS-CoV-2 cases, schools reopened in April 2020 (Taylor, 2020), using a hybrid model that combines in-person with remote synchronous lessons, irregular start times, and more free days (Alarcón & Méndez, 2020). This hybrid and irregular model implied a milder social pressure on adolescents' sleep than the normal schooling schedule of 5 days of in-person teaching starting between 07:30 and 08:00. However, adolescents' average sleep during school days was still shorter than the recommended 8 h and shorter than their vacation sleep duration

(Estevan et al., 2021). Although this previous study concluded that the influence of school start times prevailed over light in explaining the short sleep durations observed on school days, it did not analyze whether sleep patterns were impacted differently by in-person or remote lessons. This study aims to filling this gap by reanalyzing these data to include variables that were not previously considered. We took advantage of the highly variable school schedule adopted in Uruguay after the first SARS-CoV-2 wave to study the influence of an irregular mode of hybrid instruction and irregular start times on adolescents' sleep behavior.

2 | METHODS

The sleep pattern of 15 (3 males) Uruguayan high-school students was assessed in a previous study from July 23 to August 14, 2020 using wrist-worn GENEactiv original accelerometers (Activinsights Ltd.) (Estevan et al., 2021). Participants attended different schools, either private (12) or public (3), with pre-COVID schedules starting between 07:30 and 08:00 and durations between 4.5 and 10 h/day from Monday to Friday (5 days a week) or Saturday (6 days a week). After the first SARS-CoV-2 wave, participants had an irregular individual regime of 2–6 school days per week, either in-person or remote and with irregular start times, and 1–5 free days per week. The mean age of participants was 15.9 ± 0.5 (range between 15 and 17). Here we study the 12 days of recording during the school term, by considering only the days in which each participant had either in-person or remote lessons. A total of 120 school days were considered in the analysis, excluding 47 days with no school activities (29 weekend days and 18 free weekdays due to the rearrangement of school activities), 9 days because no data on school activities were reported, 3 days in which participants had lessons in the afternoon, and 1 day with no sleep-log data. Following Estevan et al. (2021), daily sleep onset and sleep end were estimated from accelerometry recordings using GGIR (van Hees et al., 2015), and sleep duration was calculated as the difference between them.

We used mixed-effects regressions with id as random effect to explore the association between mode of instruction (in-person/remote) and school start time with student sleep pattern: onset, end, and duration. We report marginal means \pm standard error (only for discrete predictors), standardized coefficients (b) \pm standard error, altogether with the associated p values. Degrees of freedom were calculated via Satterthwaite's method using lmerTest (Kuznetsova et al., 2017). Calculation of marginal and conditional pseudo- R^2 was computed using jtools (Long, 2019). In addition, the residuals were plotted and inspected for deviations in normality or homoscedasticity. Two days with the longest sleep durations (>11.0 h) and one with the shortest sleep duration (<4.0 h) were excluded after residuals inspection (all standardized values >3).

All parents provided written informed consent. This study was approved by the Ethics Committee of the School of Psychology, Universidad de la República, and complied with the principles outlined by the Declaration of Helsinki (World Medical Association, 2013).

3 | RESULTS

During the study period, participants had 7.8 ± 2.2 school days (range between 2 and 10), with a start time of $08:50 \pm 00:44$ (range between 07:30 and 12:00). On 6.1 ± 2.4 school days (range between 2 and 9, 94 observations), participants had in-person classes, and it took them between 5 and 60 min to get to school (20.0 ± 15.9 min). Participants took remote classes on 2.8 ± 1.9 school days (range between 1 and 6, 26 observations), and thus stayed at home. On school days, students' average sleep lasted from $00:53 \pm 00:38$ (range between 22:36 and 01:39) to $07:58 \pm 00:47$ (range between 06:49 and 09:43), with a mean duration of 6.9 ± 0.6 h (range between 4.2 and 9.5 h). Furthermore, they reported forced wake-ups (by using an alarm clock or by parents) in 94.9% of the 120 days considered.

As described in Figure 1, only sleep end and duration were associated with mode of instruction and school start time (sleep end pseudo- $R^2 = 0.53/0.64$; sleep duration pseudo- $R^2 = 0.34/0.50$). Sleep end was delayed when lessons were remote instead of in-person ($07:33 \pm 00:06$ vs. $08:21 \pm 00:09$; standardized $b = 0.8 \pm 0.2$ h, $p < .001$; Figure 1b), and as school started later (standardized $b = 0.7 \pm 0.1$ h, $p < .001$; Figure 1e). Sleep duration was longer when lessons were remote (6.7 ± 0.1 vs. 7.3 ± 0.2 h; standardized $b = 0.6 \pm 0.2$ h, $p = .004$; Figure 1c), and increased as school started later (standardized $b = 0.6 \pm 0.1$ h, $p < .001$; Figure 1f). Based on model predictions, class times should be as late as 11:02 so that participants would get 8 h of sleep on in-person lesson days, or 09:57 when classes were remote.

4 | DISCUSSION

Insufficient sleep duration is a major problem in modern society, particularly in adolescents, who are more likely to have late chronotypes, to sleep and wake up late, and to be in conflict with early school start times (Crowley et al., 2018). As previously reported (Bowers & Moyer, 2017; Meltzer et al., 2021; Minges & Redeker, 2016; Stone et al., 2021), we confirmed that sleep

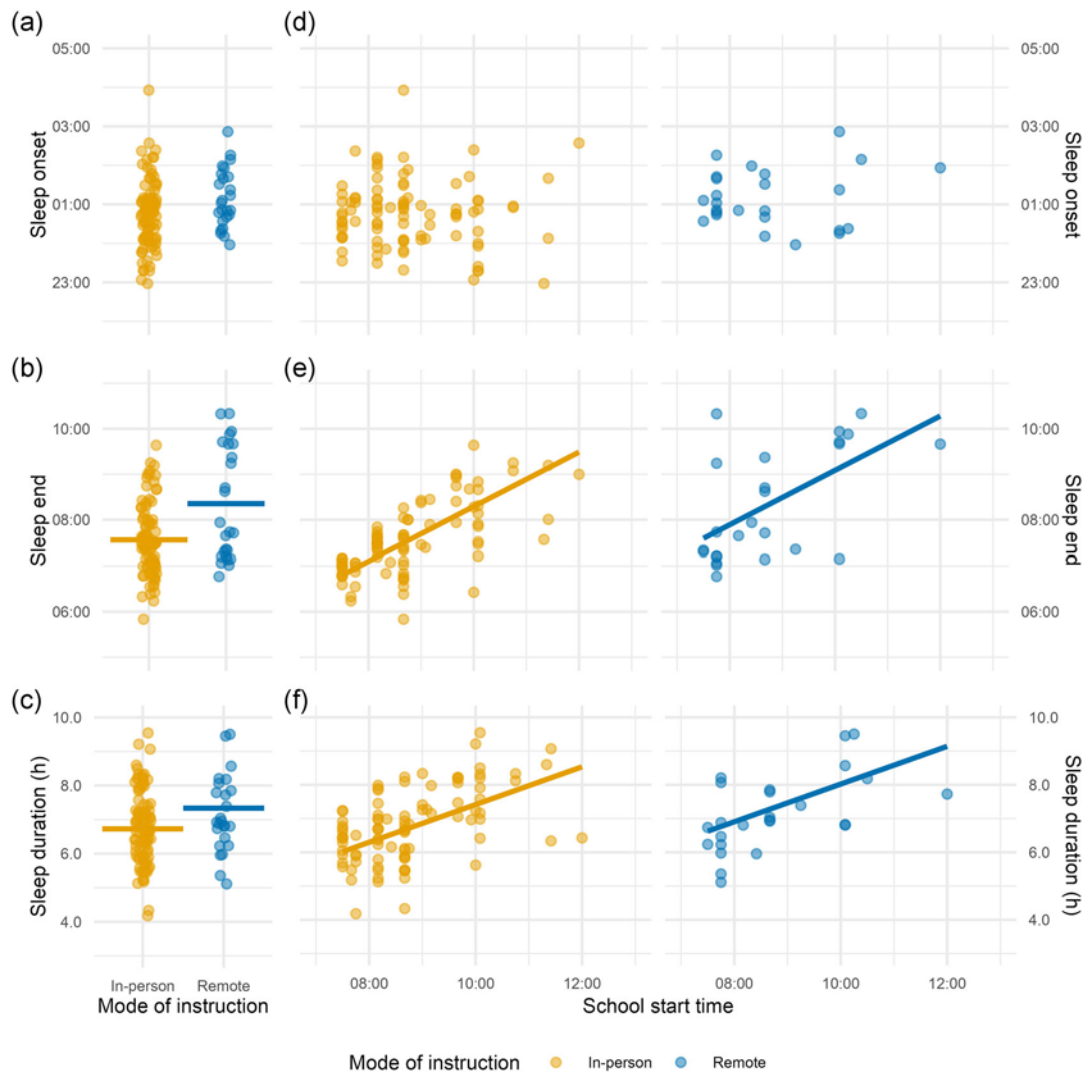


FIGURE 1 Influence of mode of instruction and school start time on participants' sleep. A total of 117 sleep periods of 15 students (3 males) were considered. (a–c) The estimated sleep parameters by mode of instruction. Remote learning had no effect on sleep onset with respect to in-person teaching ($p = .36$), delayed sleep end in 48 ± 9 min ($p < .001$), and increased sleep duration in 36 ± 12 min ($p = .004$). Horizontal lines represent the estimated marginal means (when significant). (d–f) The association between the sleep estimated parameters and the school start time by mode of instruction. In the original scale, 1 h delay in school start time delayed sleep end in 36 ± 4 min ($p < .001$) and increased sleep duration in 34 ± 5 min ($p < .001$). No association was observed with sleep onset ($p = .53$). Lines represent the population-level estimated fit (when significant) [Color figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

duration was longer as school started later and when taught remotely. The scholar activities, even in this hybrid format, which is undoubtedly milder than pre-COVID schooling, still had a significant impact on day-to-day sleep timing and duration. Even when lessons were remote, average sleep duration did not reach the recommended 8 h (Hirshkowitz et al., 2015), and was thus not enough to assure a healthy sleep duration in these extremely evening-oriented Uruguayan adolescents (Estevan et al., 2020).

Our data based on objective measurements support how strong the influence of start time on sleep duration of adolescents is. However, the study had several limitations. First, we were unable to evaluate individual differences in the response to the school schedule and the mode of instruction because the study population was small as well as the number of observations. Second, the highly variable nature of this ecological experiment may have prevented participants from adapting better to the school schedule, leading us to overestimate participants' sleep impairment. Third, all data were collected during the first SARS-CoV-2 wave, which precludes generalizing for more regular times, especially because we did not have a pre-COVID baseline sleep behavior to compare with.

Although the small number of participants, the repeated measurement analysis and the extraordinarily irregular schooling format allowed us to show that daily sleep duration on school nights is tightly commanded by school start time by its influence on the sleep end. Indeed, a linear association between school start time and participants' sleep was observed: the

later the start time the later the sleep end and the longer the sleep duration. Although the participants exhibited similar variability in sleep onset and end, they seemed unable to set their sleep onset according to the next day's schedule. A similar result was observed in this sample when comparing school days with vacation days, as the advancement of the sleep onset on the school nights was shorter than that of the sleep end (Estevan et al., 2021). Moreover, in most studies on delayed school start times, the increase in sleep duration is mostly due to a delay in the sleep end, while the onset generally remains fixed (Wheaton et al., 2016).

These results add evidence to the effectiveness of the policy of delaying school start time to preserve a healthy sleep in adolescents and to keep track of the effects of hybrid formats of education that would likely be standardly incorporated from now on. Given the extreme evening orientation of the Uruguayan adolescents (Estevan, 2020; Estevan et al., 2020), the delay in school schedules that would allow sufficient sleep duration in Uruguayan adolescents does not seem feasible. Nevertheless, it would be possible to use individual circadian preferences for the distribution of students among the multishift school schedule prevalent in Uruguay.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the students who kindly volunteered as participants of this study. This study was funded by CSIC, Universidad de la República, Uruguay, Programa de Grupos I + D—2018 #92. I. E. was supported by a scholarship from Comisión Académica de Posgrados, Universidad de la República, Uruguay.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest.

ETHICS STATEMENT

This study was approved by the Ethics Committee of the School of Psychology, Universidad de la República.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

ORCID

Ignacio Estevan  <http://orcid.org/0000-0003-4743-1310>

Ana Silva  <http://orcid.org/0000-0003-2890-0353>

REFERENCES

- Alarcón, A., & Méndez, G. (2020). *Seguimiento del retorno a las clases presenciales en centros educativos en Uruguay* (p. 60). UNICEF. <https://www.unicef.org/uruguay/media/3856/file/Seguimiento%20del%20retorno%20a%20las%20clases%20presenciales%20en%20centros%20educativos%20en%20Uruguay.pdf>
- Bowers, J. M., & Moyer, A. (2017). Effects of school start time on students' sleep duration, daytime sleepiness, and attendance: A meta-analysis. *Sleep Health, 3*(6), 423–431. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2017.08.004>
- Crowley, S. J., Wolfson, A. R., Tarokh, L., & Carskadon, M. A. (2018). An update on adolescent sleep: New evidence informing the perfect storm model. *Journal of Adolescence, 67*, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2018.06.001>
- Estevan, I. (2020). Psychometric properties of the Morningness/Eveningness Scale for Children among Uruguayan adolescents: The role of school start times. *Biological Rhythm Research, 24*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/09291016.2020.1846284>
- Estevan, I., Silva, A., Vetter, C., & Tassinio, B. (2020). Short sleep duration and extremely delayed chronotypes in Uruguayan youth: The role of school start times and social constraints. *Journal of Biological Rhythms, 35*(4), 391–404. <https://doi.org/10.1177/0748730420927601>
- Estevan, I., Tassinio, B., Vetter, C., & Silva, A. (2021). Bidirectional association between light exposure and sleep in adolescents. *Journal of Sleep Research, 35*, 691. <https://doi.org/10.1111/jsr.13501>
- Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., Hazen, N., Herman, J., Adams Hillard, P. J., Katz, E. S., Kheirandish-Gozal, L., Neubauer, D. N., O'Donnell, A. E., Ohayon, M., Peever, J., Rawding, R., Sachdeva, R. C., Setters, B., Vitiello, M. V., & Ware, J. C. (2015). National Sleep Foundation's updated sleep duration recommendations: Final report. *Sleep Health, 1*(4), 233–243. <https://doi.org/10.1016/J.SLEH.2015.10.004>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software, 82*(1), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- Long, J. A. (2019). jtools: Analysis and presentation of social scientific data. <https://cran.r-project.org/package=jtools>
- Meltzer, L. J., Saletin, J. M., Honaker, S. M., Owens, J. A., Seixas, A., Wahlstrom, K. L., Wolfson, A. R., Wong, P., & Carskadon, M. A. (2021). COVID-19 instructional approaches (in-person, online, hybrid), school start times, and sleep in over 5,000 U.S. adolescents. *Sleep, 44*, zsab180. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsab180>
- Minges, K. E., & Redeker, N. S. (2016). Delayed school start times and adolescent sleep: A systematic review of the experimental evidence. *Sleep Medicine Reviews, 28*, 82–91. <https://doi.org/10.1016/J.SMRV.2015.06.002>
- Stone, J. E., Phillips, A. J. K., Chachos, E., Hand, A. J., Lu, S., Carskadon, M. A., Klerman, E. B., Lockley, S. W., Wiley, J. F., Bei, B., & Rajaratnam, S. M. W. (2021). In-person vs. home schooling during the COVID-19 pandemic: Differences in sleep, circadian timing, and mood in early adolescence. *Journal of Pineal Research, 71*(2), e12757. <https://doi.org/10.1111/jpi.12757>
- Tarokh, L., Short, M., Crowley, S. J., Fontanellaz-Castiglione, C. E. G., & Carskadon, M. A. (2019). Sleep and circadian rhythms in adolescence. *Current Sleep Medicine Reports, 5*, 181–192. <https://doi.org/10.1007/s40675-019-00155-w>

- Taylor, L. (2020). Uruguay is winning against COVID-19. This is how. *British Medical Journal*, 370, m3575. <https://doi.org/10.1136/bmj.m3575>
- van Hees, V. T., Sabia, S., Anderson, K. N., Denton, S. J., Oliver, J., Catt, M., Abell, J. G., Kivimäki, M., Trenell, M. I., & Singh-Manoux, A. (2015). A novel, open access method to assess sleep duration using a wrist-worn accelerometer. *PLoS One*, 10(11), e0142533. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142533>
- Wheaton, A. G., Chapman, D. P., & Croft, J. B. (2016). School start times, sleep, behavioral, health, and academic outcomes: A review of the literature. *Journal of School Health*, 86(5), 363–381. <https://doi.org/10.1111/JOSH.12388>
- World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *Journal of the American Medical Association*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/JAMA.2013.281053>

How to cite this article: Estevan, I., Tassinio, B., Vetter, C., & Silva, A. (2022). Challenged by extremely irregular school schedules, Uruguayan adolescents only set their waking time. *Journal of Adolescence*, 1–5. <https://doi.org/10.1002/jad.12036>

Capítulo 4.

Turnos, luz y baile: influencias en el sueño de estudiantes de danza

4.1. Hipótesis

- H1. El patrón de sueño en jóvenes uruguayos está asociado a factores físicos, sociales y comportamentales.

4.2. Objetivos específicos

- Estudiar con instrumentos objetivos el patrón de sueño en adultos jóvenes estudiantes de danza de la Escuela Nacional de Formación Artística del SODRE que se entrenan en el turno matutino o nocturno.
- Adaptar y crear algoritmos para la determinación del sueño, su variabilidad, la actividad física, y la exposición a luz a partir del registro continuo de acelerometría.
- Estudiar las diferencias en la exposición a luz, actividad física y uso de alarmas según el turno de asistencia.
- Estudiar las diferencias en el patrón de sueño (inicio, final y duración) en función de factores sociales (tipo de día, turno, uso de alarmas), ambientales (exposición a luz), y comportamentales (actividad física).

4.3. Predicciones

- P1. El entrenamiento de los bailarines en distintos turnos estará asociado a un patrón diferencial de exposición a luz y de actividad física, que serán mayores durante su horario de entrenamiento, y a diferencias en el uso de alarmas para despertar, que serán más prevalentes en el turno matutino.

- P2. Los bailarines del turno matutino tendrán un sueño más corto y adelantado en días de entrenamiento comparado con los del turno nocturno. En los fines de semana los bailarines de ambos turnos tendrán un sueño más retrasado y largo, aunque el incremento será mayor en los del turno matutino para compensar la deuda de sueño.
- P3. El uso de alarmas por los estudiantes de danza estará asociado con un sueño más breve.
- P4. El sueño estará adelantado y será de mayor duración cuando la exposición a luz sea mayor en la mañana, y lo opuesto cuando la exposición a luz sea mayor en la noche.
- P5. El sueño será adelantado y de mayor duración asociado a una actividad física mayor en la mañana, mientras que el patrón inverso se observará cuando la actividad física sea mayor en la noche.

4.4. Resumen

El sueño se encuentra controlado por dos procesos denominados circadiano y homeostático (Borbély, 1982; Borbély, Daan, Wirz-Justice, & Deboer, 2016). Tanto la luz como la actividad física pueden influir en la ubicación temporal y duración del sueño interaccionando con ambos procesos. La mayor exposición a luz durante el día adelanta al sueño (Porcheret et al., 2018; Roenneberg, Kantermann, Juda, Vetter, & Allebrandt, 2013; Wright Jr et al., 2013), aunque la evidencia no es tan concluyente en lo que respecta a su duración, habiendo reportes de una asociación positiva entre exposición a luz y duración de sueño (Bartel et al., 2017; Boubekri, Cheung, Reid, Wang, & Zee, 2014; Figueiro & Rea, 2016), mientras otros encuentran una relación opuesta (Wams et al., 2017) o ninguna (Wright Jr et al., 2013). La actividad física también tiene un efecto positivo en la duración de sueño (Kline et al., 2021), aunque existen recomendaciones en contra del ejercicio nocturno previo a dormir (American Sleep Association, 2021; Stepanski & Wyatt, 2003). Esto último podría deberse a su capacidad de influir en el sistema circadiano (Lewis, Korf, Kuffer, Groß, & Erren, 2018; Mistlberger & Skene, 2005), aunque la relación entre la actividad física, el sistema circadiano y el sueño es bastante más compleja (Buman & King, 2010; Youngstedt, Elliott, & Kripke, 2019). Además, la actividad física nocturna es un activador fisiológico, lo que también influye negativamente en el componente homeostático del sueño (Espie, 2002). Sin embargo, evidencia reciente sugiere que el ejercicio nocturno no sería perjudicial para el sueño (Frimpong, Mograss, Zvionow, & Dang-Vu, 2021; Kredlow, Capozzoli, Heaton, Calkins, & Otto, 2015; Stutz, Eiholzer, & Spengler, 2019).

Estudios previos en Uruguay utilizando cuestionarios mostraron que los adultos jóvenes ubican su sueño tarde en la noche pero con duraciones adecuadas para la edad (Silva et al., 2019; Tassino, Horta, Santana, Levandovski, & Silva, 2016). Además, Coirolo y colaboradores (2020) estudiaron la misma población que se presenta en este capítulo de tesis: una población de estudiantes de danza, con edad similar, pero que asiste a clases en distintos turnos, mostrando con cuestionarios y diarios de sueño que la ubicación temporal del sueño fue más retrasada en aquellos que iban a clases de noche comparado con los del turno matutino. La organización de las clases de estos estudiantes de danza de la Escuela Nacional de Formación Artística consiste en dos turnos horarios extremos (matutino: 8:30 a 12:30; nocturno: 20:00 a 24:00). En este trabajo se estudiaron las diferencias entre turnos de entrenamiento de los estudiantes de danza en la actividad física, la intensidad de exposición a la luz y el uso de alarmas, tanto en días de entrenamiento como en fines de semana. Por otro lado, se buscó caracterizar su sueño utilizando medidas objetivas como es el registro de acelerometría. Por último, se estudió la asociación del sueño con el tipo de día, el turno, el uso de alarmas, la exposición a luz y la actividad física. Para esto, se re-analizaron los datos de acelerometría y exposición a luz de 31 bailarines

(5 varones, 1 otro) colectados por Coirolo (2021) para obtener el patrón diario de sueño nocturno. Junto con estos registros, los participantes completaron un cuestionario con datos socio-demográficos y reportaron diariamente su horario de sueño y el uso de alarmas para despertar.

A partir del registro continuo por 16 días entre el 11 y el 27 de agosto de 2019 se determinaron los períodos de sueño nocturno utilizando la biblioteca GGIR (van Hees et al., 2015), resultando en 485 observaciones pues se excluyeron 11 donde había información faltante. La misma biblioteca se adaptó y utilizó para estimar el tiempo (en minutos) en que cada participante desplegó actividad física moderada e intensa (*Moderate to vigorous physical activity*, MVPA) diariamente y durante cada turno de entrenamiento (entre las 8:30 y 12:30, y entre las 20:00 y las 24:00) (Sabia et al., 2014; van Hees et al., 2013). Además, se calculó la media de intensidad en la exposición a luz diaria y para las mismas franjas horarias correspondientes a los turnos de entrenamiento de la mañana y la noche. Por último, una vez identificados los períodos de sueño nocturno se calcularon los valores individuales de regularidad en el sueño para el período estudiado (Phillips et al., 2017). Se utilizaron modelos lineales mixtos con el ID como factor aleatorio para comparar la exposición a luz y la actividad física entre bailarines según tipo de día * turno. Un modelo logístico se utilizó para comparar el uso de alarmas según tipo de día * turno. También se comparó la regularidad en el sueño entre turnos con una prueba de t. Además, se utilizaron modelos lineales mixtos para estudiar la influencia en el patrón de sueño (inicio, final y duración) del turno, el tipo de día, el uso de alarmas, la exposición a luz y la actividad física.

Al comparar entre turnos de asistencia y tipos de día se hallaron diferencias en la exposición a luz, la actividad física y el uso de alarmas. El tiempo en MVPA mostró una interacción significativa entre el turno y el tipo de día ($F(1,452.2)=23.8$, $p < 0.001$). En los fines de semana los bailarines del turno matutino estuvieron menos tiempo desplegando MVPA comparado tanto con los días de entrenamiento ($p = 0.016$) como con la MVPA en fines de semana de los bailarines del turno nocturno ($p < 0.001$). Al estudiar por separado en las franjas horarias correspondientes a los turnos de entrenamiento matutino y nocturno, se observó también una interacción significativa (MVPA en la mañana: $F(1,452.2)=65.8$, $p < 0.001$; MVPA en la noche: $F(1,452.5)=34.7$, $p < 0.001$), dado que solo en días de entrenamiento los bailarines de cada turno pasaban más tiempo en MVPA en la franja coincidente con su turno de entrenamiento. Respecto a la exposición a luz diaria, solo se observó que era menor en fines de semana ($F(1,452.2)=4.0$, $p=0.046$). Esta diferencia era mayor aún al estudiar la exposición matutina ($F(1,452.3)=33.0$, $p < 0.001$), mientras que en la noche hubo una interacción significativa ($F(1,452.4)=13.2$, $p < 0.001$) debido a que solo entre los bailarines del turno nocturno se encontró una mayor exposición en la noche de los días de entrenamiento comparado con los fines de semana ($p < 0.001$). También se observó una interacción significativa entre ambos factores en la prevalencia de uso de alarmas

para despertar ($X^2(1,481)=19.3$, $p < 0.001$), que era más frecuente en días de entrenamiento (turno matutino: $p < 0.001$; turno nocturno: $p < 0.001$), pero la diferencia era mayor en los participantes del turno matutino respecto a los del nocturno pues el uso de alarmas era más frecuente en días de entrenamiento entre los del turno matutino ($p < 0.001$).

Por su parte, el inicio del sueño estaba adelantado en los bailarines del turno matutino respecto a los del nocturno ($p < 0.001$), y también en días de entrenamiento respecto a los fines de semana ($p < 0.001$), y ambos factores explicaban el 37% de la varianza (pseudo- R^2 condicional = 0.52). En el final de sueño se halló una interacción significativa entre ambos factores (pseudo- R^2 marginal/condicional = 0.37/0.59): fue más temprano en días de entrenamiento comparado con los fines de semana en ambos turnos ($p < 0.001$ en ambos casos), pero solo más temprano en los bailarines del turno de la mañana en días de entrenamiento ($p < 0.001$). En lo que respecta a la duración, solo los bailarines del turno matutino durmieron menos en los días de entrenamiento comparado con los fines de semana (pseudo- R^2 marginal/condicional = 0.02/0.11, $p = 0.036$). La regularidad en el patrón de sueño fue así similar al comparar entre turnos.

Al estudiar la influencia en el patrón de sueño de las distintas variables de manera conjunta, se observó una similar y gran influencia del turno y el tipo de día tanto en el inicio como el final de sueño (inicio de sueño: b turno = 1.1 ± 0.3 , $p < 0.001$, b tipo de día = 1.9 ± 0.2 , $p < 0.001$; final de sueño: b turno = 1.2 ± 0.4 , $p = 0.003$, b tipo de día = 1.1 ± 0.1 , $p < 0.001$). Por su parte, se halló una influencia de menor magnitud en el inicio del sueño tanto de la luz matinal como la nocturna (matinal: $b = -0.3 \pm 0.1$, $p < 0.001$; nocturna: $b = 1.2 \pm 0.4$, $p = 0.007$), y también de la actividad física nocturna ($b = 0.3 \pm 0.1$, $p < 0.001$). El uso de alarmas estuvo asociado a un gran adelanto del final del sueño ($b = -1.8 \pm 0.1$, $p < 0.001$), mientras que la luz nocturna tuvo también influencia en el final del sueño, pero con menor magnitud ($b = 0.2 \pm 0.1$, $p = 0.003$). En el caso del inicio del sueño, el conjunto de variables explicó un 44% de la varianza (pseudo- R^2 condicional = 0.56), mientras que en el caso del final lo hizo en un 47% (pseudo- R^2 condicional = 0.69). Respecto a la duración, se observó una importante reducción asociada a los fines de semana ($b = -0.7 \pm 0.2$, $p < 0.001$) y al uso de alarmas ($b = -1.7 \pm 0.2$, $p < 0.001$). También la actividad física en la noche redujo la duración de sueño aunque en menor medida ($b = -0.2 \pm 0.1$, $p = 0.003$), mientras que la exposición a luz en la mañana lo incrementó ($b = -0.2 \pm 0.1$, $p = 0.043$). El conjunto de variables explicó un 20% de la varianza en la duración de sueño (pseudo- R^2 condicional = 0.32).

Este cuasi-experimento con adultos jóvenes que estudian y se entrenan físicamente en distintos momentos del día permitió avanzar en el conocimiento sobre cómo los turnos imponen

distintos perfiles en los factores relevantes para el sueño. Por su parte, el sueño resultó retrasado entre los bailarines del turno nocturno, y en los bailarines de ambos turnos el sueño se retrasó en los fines de semana, lo que si bien ya se había observado por auto-reportes (Coirolo et al., 2020), quedó ahora demostrado por medidas objetivas. Además, el estudio conjunto de estos distintos determinantes permitió identificar factores ambientales, sociales y comportamentales que influyen en el patrón de sueño, así como valorar su impacto relativo. Mientras que en los fines de semana el sueño se vio reducido, una asociación no esperada, la menor prevalencia en el uso de alarmas en esos días contrarrestaba esa influencia, particularmente entre los bailarines del turno matutino. Por otra parte, la mayor actividad física y exposición a luz en la mañana en los bailarines del turno matutino adelantó e incrementó la duración de sueño, mientras que el patrón inverso se observó entre los bailarines del turno nocturno. El patrón de sueño efectivo observado emerge así de la interacción de múltiples factores con influencias de distinta magnitud y muchas veces contrapuestas. Estos hallazgos muestran que los turnos de entrenamiento de estudiantes de danza constituyen un interesante modelo natural de estudio para la cronobiología, y que el estudio de la variación diaria a través de medidas objetivas repetidas es una potente herramienta de análisis para el estudio de estas complejas relaciones.

En suma, como se planteó en la predicción P1, los turnos de entrenamiento mostraron diferencias en el uso de alarmas y en el patrón de exposición a luz y de actividad física en el sentido esperado. Se identificó que el comportamiento, así como el ambiente social y físico, se asocian con el patrón de sueño como se planteó en la hipótesis H1. Respecto a la asociación del turno y el tipo de día con el sueño planteada en la predicción P2, solo se hallaron las diferencias esperadas en la ubicación temporal pero no en la duración. Sí se observó que los bailarines del turno matutino incrementaban la duración del sueño en los fines de semana. Respecto a las demás variables que se esperaba influyeran en el patrón de sueño como se planteó en las predicciones P3, P4 y P5, se encontraron la mayoría de asociaciones esperadas: las alarmas redujeron el sueño al adelantar el despertar, la luz tuvo un efecto contrapuesto según el momento del día en que ocurría la exposición, mientras que la actividad física nocturna retrasó y acortó el sueño.

Listado de referencias

- American Sleep Association. (2021). Sleep Hygiene Tips, Research & Treatments. Recuperado 16 de agosto de 2021, de American Sleep Association website: <https://www.sleepassociation.org/about-sleep/sleep-hygiene-tips/>
- Bartel, K., van Maanen, A., Cassoff, J., Friborg, O., Meijer, A. M., Oort, F., ... Gradisar, M. (2017). The short and long of adolescent sleep: The unique impact of day length. *Sleep Medicine*, *38*, 31-36.
- Borbély, A. A. (1982). A two process model of sleep regulation. *Human Neurobiology*, *1*, 195-204.
- Borbély, A. A., Daan, S., Wirz-Justice, A., & Deboer, T. (2016). The two-process model of sleep regulation: A reappraisal. *Journal of Sleep Research*, *25*, 131-143.
- Boubekri, M., Cheung, I. N., Reid, K. J., Wang, C.-H., & Zee, P. C. (2014). Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: A case-control pilot study. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, *10*, 603-611.
- Buman, M. P., & King, A. C. (2010). Exercise as a Treatment to Enhance Sleep. *American Journal of Lifestyle Medicine*, *4*, 500-514.
- Coirolo, N. (2021). Los ritmos biológicos de los bailarines: El impacto de los turnos de entrenamiento sobre el cronotipo, fase circadiana y hábitos de sueño. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Coirolo, N., Silva, A., & Tassino, B. (2020). The impact of training shifts in dancers' chronotype and sleep patterns. *Sleep Science*, *13*, 31-35.
- Espie, C. A. (2002). Insomnia: Conceptual Issues in the Development, Persistence, and Treatment of Sleep Disorder in Adults. *Annual Review of Psychology*, *53*, 215-243.
- Figueiro, M., & Rea, M. (2016). Office lighting and personal light exposures in two seasons: Impact on sleep and mood. *Lighting Research & Technology*, *48*, 352-364.
- Frimpong, E., Mograss, M., Zvionow, T., & Dang-Vu, T. T. (2021). The effects of evening high-intensity exercise on sleep in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 101535.
- Kline, C. E., Hillman, C. H., Bloodgood Sheppard, B., Tennant, B., Conroy, D. E., Macko, R. F., ... Erickson, K. I. (2021). Physical activity and sleep: An updated umbrella review of the 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee report. *Sleep Medicine Reviews*, *58*, 101489.
- Kredlow, M. A., Capozzoli, M. C., Hearon, B. A., Calkins, A. W., & Otto, M. W. (2015). The effects of physical activity on sleep: A meta-analytic review. *Journal of Behavioral Medicine*, *38*, 427-449.
- Lewis, P., Korf, H. W., Kuffer, L., Groß, J. V., & Erren, T. C. (2018). Exercise time cues (zeitgebers) for human circadian systems can foster health and improve performance: A systematic review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, *4*, e000443.
- Mistlberger, R. E., & Skene, D. J. (2005). Nonphotic Entrainment in Humans? *Journal of Biological Rhythms*, *20*, 339-352.
- Phillips, A. J. K., Clerx, W. M., O'Brien, C. S., Sano, A., Barger, L. K., Picard, R. W., ... Czeisler, C. A. (2017). Irregular sleep/wake patterns are associated with poorer academic performance and delayed circadian and sleep/wake timing. *Scientific Reports*, *7*, 3216.
- Porcheret, K., Wald, L., Fritschi, L., Gerkema, M., Gordijn, M., Mermrow, M., ... Foster, R. G. (2018). Chronotype and environmental light exposure in a student population. *Chronobiology International*, *35*, 1365-1374.
- Roenneberg, T., Kantermann, T., Juda, M., Vetter, C., & Allebrandt, K. V. (2013). Light and the human circadian clock. En A. Kramer & M. Mermrow (Eds.), *Handbook of experimental pharmacology* (Vol. 217, pp. 311-331). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Sabia, S., van Hees, V. T., Shipley, M. J., Trenell, M. I., Hagger-Johnson, G., Elbaz, A., ... Singh-Manoux, A. (2014). Association Between Questionnaire- and Accelerometer-Assessed Physical Activity: The Role of Sociodemographic Factors. *American Journal of Epidemiology*, *179*, 781-790.
- Silva, A., Simón, D., Pannunzio, B., Casaravilla, C., Díaz, Á., & Tassino, B. (2019). Chronotype-dependent changes in sleep habits associated with dim light melatonin onset in the Antarctic summer. *Clocks & Sleep*, *1*, 352-366.
- Stepanski, E. J., & Wyatt, J. K. (2003). Use of sleep hygiene in the treatment of insomnia. *Sleep Medicine Reviews*, *7*, 215-225.
- Stutz, J., Eiholzer, R., & Spengler, C. M. (2019). Effects of Evening Exercise on Sleep in Healthy Participants: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, *49*, 269-287.
- Tassino, B., Horta, S., Santana, N., Levandovski, R., & Silva, A. (2016). Extreme late chronotypes and social jetlag challenged by Antarctic conditions in a population of university students from Uruguay. *Sleep Science*, *9*, 20-28.
- van Hees, V. T., Gorzelniak, L., León, E. C. D., Eder, M., Pias, M., Taherian, S., ... Brage, S. (2013). Separating Movement and Gravity Components in an Acceleration Signal and Implications for the Assessment of Human Daily Physical Activity. *PLOS ONE*, *8*, e61691.
- van Hees, V. T., Sabia, S., Anderson, K. N., Denton, S. J., Oliver, J., Catt, M., ... Singh-Manoux, A. (2015). A novel, open access method to assess sleep duration using a wrist-worn accelerometer. *PLOS ONE*, *10*, e0142533.
- Wams, E. J., Woelders, T., Marring, I., van Rosmalen, L., Beersma, D. G. M., Gordijn, M. C. M., & Hut, R. A. (2017). Linking light exposure and subsequent sleep: A field polysomnography study in humans. *Sleep*, *40*. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsx165>
- Wright Jr, K. P., McHill, A. W., Birks, B. R., Griffin, B. R., Rusterholz, T., & Chinoy, E. D. (2013). Entrainment of the human circadian clock to the natural light-dark cycle. *Current Biology*, *23*, 1554-1558.
- Youngstedt, S. D., Elliott, J. A., & Kripke, D. F. (2019). Human circadian phase-response curves for exercise. *The Journal of Physiology*, *597*, 2253-2268.

The influence of light and physical activity on the timing and duration of sleep: Insights from natural model of dance training in shift

1 **How does training in shifts affect sleep in dancers?**

2

3 **Authors**

4 Ignacio Estevan^a, Natalia Coirolo^{letra}, Bettina Tassino^b, Céline Vetter^c, Ana Silva^d

5

6 **Affiliations**

7 ^a Programa de Neuropsicología y Neurobiología; Facultad de Psicología, Universidad
8 de la República; Montevideo, 11200; Uruguay.

9 ^b Sección Etología; Facultad de Ciencias, Universidad de la República; Montevideo,
10 11200; Uruguay.

11 ^d Laboratorio de Neurociencias; Facultad de Ciencias, Universidad de la República;
12 Montevideo, 11200; Uruguay.

13

14 **Corresponding author (email, full postal address)**

15 *

16

17 Total number of words:

18 Number of references:

19

20 **Disclosure Statement**

21 Financial disclosure: none.

22 Non-financial Disclosure: none

23

24

25 1. Introduction

26 Sleep characteristics, both quantitative and qualitative, are shaped by environmental,
27 social and behavioral influences (Redline et al., 2019). Impaired sleep timing, duration, and
28 quality have major consequences on health, as well as on mental and physical performance
29 (Carskadon, 2004; Czeisler, 2015). Social pressures are relevant factors affecting sleep in
30 urban life. For example, most late oriented individuals suffer from sleep restrictions during
31 weekdays because of early social duties and compensate this sleep deprivation by
32 oversleeping during weekends (Kocevskaja et al., 2021; Roenneberg & Mellow, 2007). In
33 teenagers, who have extreme nocturnal preferences and chronic sleep deprivation, the
34 social demand of early school start time, which imposes a misalignment to the internal clock,
35 is a major challenge for their sleep (Bowers & Moyer, 2017; Crowley et al., 2018). Moreover,
36 adolescents who attend classes in the afternoon sleep longer than those who attend classes
37 in the morning (Arrona-Palacios et al., 2015; Carvalho-Mendes et al., 2020; Estevan et al.,
38 2020). The highly prevalent use of alarms on weekdays among high school and college
39 students has been used as an indicator of the high levels of youngsters' misalignment
40 (Estevan et al., 2022b; Shochat et al., 2021). Although college students are less late-
41 oriented than adolescents, still 40% of them report sleep durations of less than 6 h per day
42 (Peltzer & Pengpid, 2016).

43 Sleep is partially controlled by the circadian system, whose main entrainer is ambient
44 light (Czeisler & Gooley, 2007). Therefore, the increase in artificial light exposure during
45 nights and the decrease in natural light exposure during the day have been identified as
46 relevant causes for a delayed onset of daily sleep and for the global pandemic sleep deficit
47 (Czeisler, 2013). Light exposure affects multiple aspects of sleep including its timing and
48 duration (Prayag et al., 2019). Some ecological studies show that lower daily light exposures
49 are associated with delayed sleep (Porcheret et al., 2018; Roenneberg et al., 2013; Wright Jr
50 et al., 2013). It is also well documented that artificial and screen lights during the evening
51 delay sleep as well (Wright et al 2013; Akacem et al 2018). In contrast, the evidence

52 regarding sleep duration is less conclusive and requires further ecological studies. While low
53 light exposure has been associated with short sleep in both adolescents (Bartel et al., 2017;
54 Estevan et al., 2022a) and workers (Boubekri et al., 2014; Figueiro & Rea, 2016), other
55 studies report a negative association between light and sleep duration (Wams et al., 2017)
56 or no association at all (Master et al., 2019; Wright Jr et al., 2013).

57 Physical activity can also entrain the circadian system acting independently but also
58 additively to the effect of light that it usually implies (Lewis et al., 2018; Youngstedt et al.,
59 2019). Programmed exercise can thus advance the circadian phase and secondarily sleep if
60 practiced in the morning or delay them if practiced during the evening (Youngstedt et al.,
61 2019). Physical activity and sleep influence each other (Chennaoui et al., 2015; Kline, 2014),
62 although there are also reports that do not show this association (Atoui et al., 2021). Both
63 chronic and acute daytime physical activity have been associated with longer sleep
64 durations (Kline et al., 2021; Kredlow et al., 2015; Kubitz et al., 1996; Youngstedt et al.,
65 1997; Youngstedt & Kline, 2006). However, a meta-analysis considering self-reported sleep
66 duration and physical activity in undergraduate students found no clear association (Memon
67 et al., 2021). Besides, although avoiding evening exercise is recommended to have a good
68 subsequent sleep (American Sleep Association, 2021; Stepanski & Wyatt, 2003), recent
69 reviews found no significant support for the negative association between late exercise and
70 sleep (Frimpong et al., 2021; Kredlow et al., 2015; Stutz et al., 2019).

71 School shifts have proven to be an advantageous approach to study how the
72 interactions of social pressures and the circadian system influence adolescent sleep
73 (Carvalho-Mendes et al., 2020; Estevan et al., 2020; Malheiros et al., 2021; Martin et al.,
74 2016). However, it is not clear what school shifts entail in terms of social and/or circadian
75 challenge. Previous studies have shown that sleep is earlier and shorter in high school
76 students attending the morning shift with respect to afternoon-shift students (Carvalho-
77 Mendes et al., 2020; Estevan et al., 2020; Koscec Bjelajac et al., 2020; Malheiros et al.,
78 2021). As previously reported in shift workers (Grundy et al., 2009; Papantoniou et al., 2014;
79 Rabstein et al., 2019), school shifts imply differences in light exposure between adolescents

80 attending different school shifts that can be associated with their differential sleep and
81 activity patterns. However, no differences in daily measurements of physical activity between
82 adolescents attending two different shifts have been found so far (Malheiros et al., 2021).

83 Uruguayan teens and undergraduate students have been described as extremely late
84 oriented with strong misalignment and chronic sleep deficit (Coirolo et al., 2020; Estevan
85 et al., 2020, 2020, 2022b; Tassinio et al., 2016). We have recently shown in Uruguayan
86 adolescents that daily light exposure induces an early and longer sleep, but this effect is not
87 enough to counteract the decrease in sleep duration produced by the early school start times
88 (Estevan et al., 2022a). Uruguayan public school for professional training in contemporary
89 and folkloric dance operates in two separate training shifts and thus contributes a natural
90 experiment to study social pressures on sleep. Training shifts strongly influence dancers
91 self-reported sleep patterns, with sleep of night-shift dancers delayed relative to morning-
92 shift dancers during training days (Coirolo et al., 2020). In the present study, we first aimed
93 to objectively characterize the sleep patterns of morning and night-shift dancers. Our second
94 aim was to assess the association between training shifts and other social factors (alarm
95 usage), the physical environment (light exposure), and the dancers' behavior (physical
96 activity). We finally took advantage of this natural experiment to study the unique and
97 additive influence of these factors in dancers' sleep pattern.

98 **2. Materials and methods**

99 The sleep pattern of 31 dancers (5 males, 1 other) attending the Uruguayan public
100 school for professional training in contemporary and folkloric dance (Escuelas de Formación
101 Artística, END-SODRE, Ministerio de Educación y Cultura, Uruguay) was assessed from
102 August 11 00:00 to August 27 23:59, 2019 (winter in the southern hemisphere) using wrist-
103 worn GENEactiv Original accelerometers (Activinsights Ltd., Cambridge, UK). The END-
104 SODRE 4-year training program classes are taught annually from March to November and
105 from Monday through Friday, and are scheduled in the night (20:00 to 24:00) for first and
106 second grade students, and in the morning (08:30 to 12:30) for students of the third and

107 fourth grade (Coirolo et al., 2020). The END-SODRE curriculum covers both theoretical and
108 practical aspects, the latter involving at least three hours a day. Participants belonged to the
109 four grades, were aged between 18 and 34 (age = 22.6 ± 3.5), and either trained in the
110 morning shift (n= 15) or in the night shift (n = 16).

111 Accelerometer and light exposure data were acquired using a 10Hz sampling
112 frequency. Daily sleep onset and end were estimated from accelerometry recordings using
113 GGIR (van Hees et al., 2015), and using sleep-logs as guidance as previously reported
114 (Estevan et al., 2022a). During the study period, participants also completed a digital daily
115 sleep log, in which they reported their previous night sleep onset and end, as well as the
116 usage of an alarm clock to wake up. Sleep duration was calculated as the difference
117 between sleep onset and end. We excluded 7 daily recordings (1.3%) with no sleep-log data
118 or with low number of valid hours, and 4 other (0.8%) with no information on alarm use,
119 remaining 485 sleep periods to be considered. For each participant, the Sleep Regularity
120 Index was calculated following Phillips et al. (2017).

121 Physical activity was estimated using an adaptation of GGIR library (Sabia et al., 2014;
122 van Hees et al., 2013). Using Euclidean Norm Minus One with Negative values set to Zero
123 multiplied by 1000, minutes of moderate to vigorous physical activity (MVPA, > 100 mg)
124 (Hildebrand et al., 2014) were estimated. Light exposure was estimated from wrist-worn
125 accelerometers recordings following Estevan et al. (2022a). Individual recordings were
126 converted into 1 min bins, segmented from 00:00 to 23:59, and log₁₀ of mean light intensity
127 plus 1 was estimated. For both variables, values were calculated by day and for each of the
128 respective shifts: morning (08:30 to 12:29) or night (20:00 to 23:59).

129 We used mixed-effects linear regressions with id as random effect to study differences
130 in daily, morning and night physical activity, considering the school shift and the type of day
131 as predictors. A generalized linear model was employed to study differences in the
132 frequency of alarm usage by shift. We used mixed-effects linear regressions with id as
133 random effect to explain day-to-day variance in the sleep behavior. School shift
134 (morning/night), next day type of day (training/weekend) and use of an alarm clock (no/yes),

135 and previous day light exposure and physical activity, were considered as predictors. Time
136 was converted to decimal hours, and continuous predictors were mean centered and
137 standardized. Degrees of freedom were calculated via Satterthwaite's method using
138 lmerTest (Kuznetsova et al., 2017). Bonferroni correction was employed to adjust for multiple
139 comparisons. Calculation of marginal and conditional pseudo-R² were computed using
140 MuMIn (Barton, 2019). Residuals were plotted and inspected for deviations in normality or
141 homoscedasticity.

142 Descriptive statistics are presented as mean \pm standard deviation or frequency
143 (percentage). For the regressions, the marginal/conditional pseudo-R² and the standardized
144 coefficients (b/z) \pm standard error with the associated p-values are reported.

145 All participants gave written informed consent. This study was approved by the Ethics
146 Committee of the School of Psychology, Universidad de la República, and complied with the
147 principles outlined by the Declaration of Helsinki (World Medical Association, 2013).

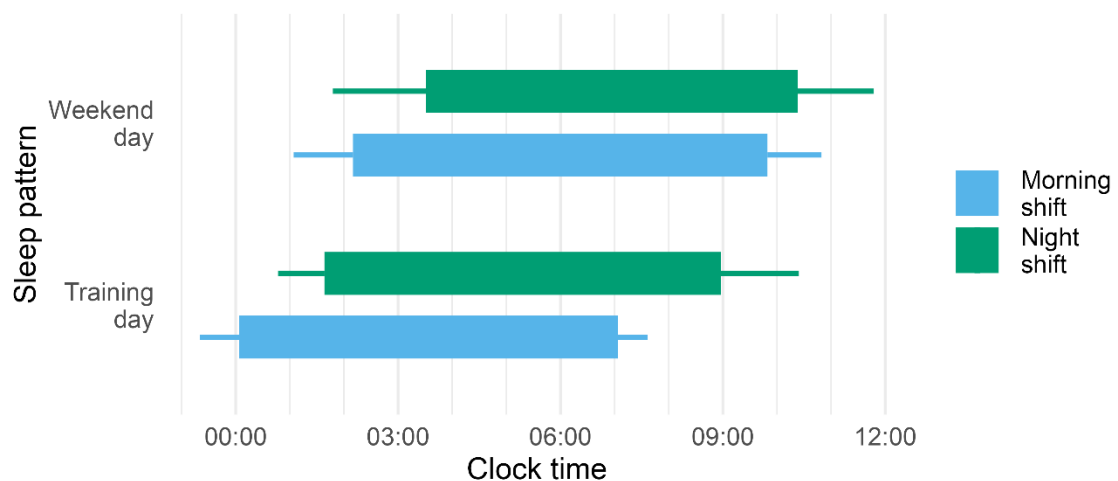
148 **3. Results**

149 We studied the sleep pattern of 31 college dance students training either in a morning
150 shift or in a late night shift. An average of 15.6 ± 1.0 daily records per participant were
151 considered (range between 11 and 16), which consisted of 11.8 ± 0.6 sleep periods before a
152 training day (Monday through Friday; range between 9 and 12) and 3.8 ± 0.5 sleep periods
153 before a weekend day (Saturday and Sunday; range between 2 and 4). We found no age
154 difference between morning-shift dancers (23.1 ± 2.9 years old) and night-shift ones ($22.2 \pm$
155 4.0 years old) ($t(29) = -0.7, p = 0.523$).

156 **3.1. Sleep timing was delayed among night shift dancers**

157 As shown in Figure 1 and Table A1, sleep onset was delayed in night-shift dancers
158 with respect to morning-shift ones ($b = 1.5 \pm 0.3, p < 0.001$) and in weekend vs training days
159 ($b = 2.0 \pm 0.1, p < 0.001$), with no significant interaction (Pseudo-R² marginal/conditional =
160 0.37/0.52). Regarding sleep end, the interaction between school shift and type of day was
161 significant (Pseudo-R² marginal/conditional = 0.37/0.59). We found that it was earlier in

162 training days among dancers of both shifts compared to weekend days (morning shift: $b = -$
 163 2.8 ± 0.2 , $p < 0.001$; night shift: $b = -1.4 \pm 0.2$, $p < 0.001$), and earlier among morning-shift
 164 dancers compared to night-shift ones only in training days ($b = -1.9 \pm 0.4$, $p < 0.001$). In
 165 relation to sleep duration, only morning-shift dancers slept longer on weekend days than on
 166 training days ($b = -0.6 \pm 0.2$, $p = 0.036$; Pseudo- R^2 marginal/conditional = 0.02/0.11). In
 167 addition, sleep regularity was similar between dancers attending either the morning ($73.8 \pm$
 168 6.3) or the night shift (73.3 ± 6.9 ; $t(29) = -0.5$, $p = 0.844$).



169

170 Figure 1. Sleep schedule on weekend days and training days in students attending the
 171 either morning (08:30 to 12:30, $N = 15$) or night school shift (20:00 to 24:00, $N = 16$). Each
 172 rectangle extends from the grand mean sleep onset to the grand mean sleep end. Lines
 173 represent standard deviation.

174 3.2. Training shifts involve differences in the timing of light exposure and physical 175 activity

176 The first evident thing that training shifts entail is a difference between training days
 177 and weekend days. Further, as shown in Table 1, several variables vary between shifts and
 178 type of day. There was a significant interaction of the type of day and the training shift in
 179 daily moderate to vigorous physical activity. The daily MVPA did not differ between shifts
 180 during training days. However, during weekend days morning-shift students spent nearly 40
 181 min less in MVPA than night-time students ($p = 0.016$). In addition, the time spent in MVPA

182 was shorter on weekend days than on training days for morning-shift dancers ($p < 0.001$).
183 Additionally, significant interactions between type of day and training shift were also found
184 when morning and nighttime MVPA were considered (Table 1). On training days, morning-
185 shift dancers exhibited longer MVPA than night-shift dancers during the morning as
186 expected ($p < 0.001$), and compared to their own weekend mornings ($p < 0.001$). The
187 inverse pattern was observed during the night, when night-shift dancers exhibited longer
188 MVPA than morning-shift ones ($p < 0.001$) and compared to their weekend nights ($p <$
189 0.001).

190

Table 1. Alarm use, light exposure and physical activity in morning and night shift, on school and weekend days.

	Time-window		Morning shift (N = 15)		Night shift (N = 16)		School shift		School shift *	
	Training day	Weekend day	Training day	Weekend day	Training day	Weekend day	Training day	Weekend day	Training day	Weekend day
Moderate to vigorous physical activity (minutes) ¹	Daily	169.4±37.3	130.0±35.2	167.3±35.9	172.0±54.6	F(1,30.2)=2.4, p=0.133	F(1,452.2)=13.3, p< 0.001	F(1,30.8)=2.8, p=0.105	F(1,452.2)=101.1, p< 0.001	F(1,452.2)=23.8, p< 0.001
Mean intensity of light exposure (log ₁₀ lux +1) ¹	Morning	53.1±12.5	18.8±10.2	30.8±14.7	26.8±15.4	F(1,31.0)=0.3, p=0.564	F(1,452.5)=47.3, p< 0.001	F(1,31.9)=18.6, p< 0.001	F(1,452.3)=33.0, p=0.327	F(1,452.5)=34.7, p< 0.001
	Night	27.1±13.2	25.2±9.0	51.5±6.7	29.1±13.0	F(1,31.0)=0.4, p=0.545	F(1,452.4)=28.9, p< 0.001	F(1,31.0)=0.4, p=0.545	F(1,452.3)=0.4, p=0.509	F(1,452.4)=13.2, p< 0.001
Frequency of alarm usage (%) ²	Daily	2.3±0.3	2.2±0.4	2.2±0.4	2.2±0.4	F(1,31.3)=7.7, p=0.009	X ² (1,482)=95.3, p< 0.001	F(1,31.3)=7.7, p=0.009	X ² (1,481)=19.3, p< 0.001	X ² (1,481)=19.3, p< 0.001
	Morning	2.4±0.4	1.9±0.8	2.2±0.6	1.8±0.7					
	Night	0.9±0.3	0.8±0.3	1.3±0.2	0.9±0.4					

191

Note:

192

¹ Data obtained from accelerometry recordings.

193

² Data obtained from sleep logs.

194 Daily light exposure was higher on training days (2.3 ± 0.3) than on weekend days (2.2
195 ± 0.4 ; Table 1). In line with this, higher light exposure on training vs weekend days was
196 observed during the morning in dancers of both the morning and night training shifts ($2.3 \pm$
197 0.5 vs 1.8 ± 0.7). On the other hand, there was a significant interaction of the type of day and
198 the training shift. Only on training days the night light exposure was higher in night-shift
199 dancers than in morning-shift ones ($p < 0.001$). Besides, only in night-shift dancers, the light
200 exposure was lower on weekend days than on training days ($p < 0.001$).

201 Dancers used an alarm clock to wake up in 70.7% of the observations (Table 1). There
202 was a significant interaction between training shift and type of day in the frequency of alarm
203 usage. The proportion of alarm usage was higher on training vs weekend days in both shifts
204 (morning shift: $p < 0.001$; night shift: $p < 0.001$), being this difference even higher in morning-
205 shift than in night-shift dancers. In addition, the proportion of alarm usage was higher in
206 morning-shift dancers than in night-shift ones only on training days ($p < 0.001$).

207 **3.3. The sleep pattern is influenced by several factors related to training in different** 208 **shifts**

209 As can be seen in Figures A1 and A2, there is great variation both between and within
210 shifts and day types. We used this variation as well as the alarm usage, along with the type
211 of day and training shift to evaluate the unique and additive contribution of each of these
212 variables on sleep pattern. Results for the mixed-effects linear regressions for estimating
213 sleep timing and duration considering all predictors are presented in Table 2. Sleep onset
214 was strongly influenced by both the school shift ($b = 65 \pm 16$ min delay in night shift
215 attendants, $p < 0.001$) and the type of day ($b = 112 \pm 9$ min delay in weekend days, $p <$
216 0.001). No influence of alarm clocks on sleep onset was found. Daily light exposure intensity
217 was associated with an advanced sleep onset ($b = -9 \pm 4$ min, $p = 0.027$; Table A2). When
218 light exposure was analyzed separately in the morning and the night time windows, a 1 SD
219 increase in log₁₀ morning light was associated with 18 ± 4 min advance in the sleep onset,
220 while the same increase in night light exposure was associated with 12 ± 4 min delay ($p =$

221 0.007). On the other hand, daily MVPA was not associated with changes in the sleep onset
222 (Table A2). However, 1 SD increase in the night time-window MVPA was associated with 20
223 min delay in sleep onset ($p < 0.001$). When previous sleep end was included, the described
224 associations with sleep onset remained significant (Table A3).

Table 2. Mixed-effects linear regressions for estimating sleep parameters.

	Sleep onset			Sleep end			Sleep duration					
	b ± SE	t	df	p	b ± SE	t	df	p	b ± SE	t	df	p
Intercept	0.3 ± 0.2	1.4	72.9	0.154	8.9 ± 0.3	31	48.1	< 0.001	8.5 ± 0.2	37.2	86.5	< 0.001
Training shift (1 = Night)	1.1 ± 0.3	4.1	34.6	< 0.001	1.2 ± 0.4	3.2	32.5	0.003	0.1 ± 0.3	0.3	35.8	0.770
Type of day (1 = Weekend day)	1.9 ± 0.2	12.1	464.8	< 0.001	1.1 ± 0.1	8	459	< 0.001	-0.7 ± 0.2	-4.4	467.6	< 0.001
Alarm (1 = Yes)	0.0 ± 0.2	0.2	480.2	0.825	-1.8 ± 0.1	-12.5	467.8	< 0.001	-1.7 ± 0.2	-10.6	483.8	< 0.001
Morning light exposure (log ₁₀ lux +1)	-0.3 ± 0.1	-4.2	483.4	< 0.001	-0.1 ± 0.1	-1.7	478.2	0.090	0.2 ± 0.1	2	474.4	0.043
Night light exposure (log ₁₀ lux+1)	0.2 ± 0.1	2.7	484.9	0.007	0.2 ± 0.1	3	474.2	0.003	0.0 ± 0.1	0.2	483	0.823
Moderate to vigorous morning activity (minutes)	-0.0 ± 0.1	-0.2	485	0.812	0.0 ± 0.1	0.1	474.9	0.902	0.0 ± 0.1	0	482.3	0.978
Moderate to vigorous night activity (minutes)	0.3 ± 0.1	4.5	484.5	< 0.001	0.1 ± 0.1	1.5	472.9	0.147	-0.2 ± 0.1	-3	484.3	0.003
Pseudo-R ² marginal / conditional	0.44/0.56			0.47/0.69			0.20/0.32					

226 Note: Time was converted to decimal hours and sleep mid-point was also centered at midnight. Both activity and light exposure were

227 mean centered and standardized, so b should be interpreted as the change in the sleep variables associated with 1 standard deviation

228 increase in this variables.

229 SE: Standard Error.

230 Df: Degrees of freedom.

231 School shift, type of day and alarm usage were the stronger predictors of sleep end.
232 Night-shift dancers wake up 70 ± 22 min later than morning-shift ones ($p = 0.003$). On
233 weekend days, sleep end was 67 ± 8 min later ($p < 0.001$). Alarm usage was associated with
234 106 ± 8 min earlier sleep end ($p < 0.001$). Daily light exposure intensity was associated with
235 an advanced sleep end ($b = -11 \pm 4$ min, $p = 0.002$; Table A2). Only night light exposure was
236 significantly associated with sleep end, but with an opposite effect: 1 SD increase in log₁₀
237 light intensity was associated with 12 ± 4 min delay in sleep end ($p = 0.003$). Time spent
238 daily in MVPA was not associated with sleep end, neither was morning nor night window
239 MVPA. Inclusion of the previous sleep end did not affect the variables that were significant in
240 predicting the sleep end (Table A3).

241 Overall, the changes in sleep onset and end explain the observed strong association
242 of the sleep duration with the type of day and alarm usage. Sleep duration was reduced by
243 44 ± 10 min in weekend days with respect to training days ($p < 0.001$); and alarm usage per
244 se reduced it in 104 ± 10 min ($p < 0.001$). Besides, an increase in 1 SD in morning light
245 exposure was associated with longer sleep duration ($b = 10 \pm 5$ min, $p = 0.043$), while a
246 similar increase in night MVPA was associated with a shorter sleep duration ($b = -14 \pm 5$
247 min, $p = 0.003$). Inclusion of the previous sleep end did not modified the described
248 associations (Table A3).

249 **4. Discussion**

250 Environmental, social, and behavioral variables affect sleep timing and duration
251 (Redline et al., 2019; Tubbs et al., 2019). School shifts have been associated with
252 differences in sleep patterns (Arrona-Palacios et al., 2015; Coirolo et al., 2020; Estevan
253 et al., 2020; Goldin et al., 2020). However, it remains to be determined to what extent
254 differences in light exposure and physical activity associated with shifts influence sleep
255 patterns. Indeed, it has been difficult so far to integrate the analysis of the interplay effects
256 these variables have on sleep in a single ecological study. To fill this gap, we took
257 advantage of a population of dancers that train in two extreme shifts, which involve

258 differential daily light exposure and exercise timing, to test their integrated effects on sleep.
259 In addition, continuous objective recordings and repeated measures analysis allowed us to
260 identify the intra-subject contribution of each of these factors as well as the differences
261 according to the time of day in which they occur. To our knowledge, this is the first attempt to
262 study what school shifts actually involve as social pressure and to combine several
263 measures to understand how environmental, social, and behavioral variables shape sleep
264 patterns in a population of dancers training in shifts.

265 **4.1. What do dance training shifts entail?**

266 Training and weekend days as well as the timing of dance training were associated
267 with differences in sleep patterns (mainly in its timing) measured from accelerometry
268 recordings, as previously described by self-reported data for the same population (Coirolo
269 et al., 2020). While the sleep timing was very different across shifts, sleep regularity was
270 similar between shifts, probably because the differences in the sleep pattern between shifts
271 were similar on training days and weekend days. Furthermore, training in shifts constitute a
272 social pressure that implied also differences in environmental light exposure, physical
273 activity, and alarm usage between morning-shift and night-shift dancers.

274 There were no differences in mean light exposure between shifts in training days,
275 while it was higher in training days with respect to weekend days in dancers of both shifts.
276 Similar results were found between work and weekend days in adults (Crowley et al., 2015;
277 Zerbini et al., 2021) and in school vs weekend days in adolescents (Estevan et al., 2022a).
278 Previous work found differences between school shifts in daily light exposure, which was
279 higher in morning shift adolescents compared to afternoon shift ones (Martin et al., 2016).
280 Morning light exposure pattern was higher on training days, similar to the daily light
281 exposure, likely related to an increased exposure to natural light on training days. However,
282 a significant interaction was found in night light exposure (when values were 10 times lower
283 and artificial light is the main source), which was higher in night shift dancers compared to
284 both their morning light exposure and to the morning shift dancers' night exposure. Studying

285 differences throughout the day in light exposure among adolescents, previous reports found
286 greater exposure in the morning for morning-shift students (Anacleto et al., 2014; Martin
287 et al., 2016) and the opposite in the afternoon window (Anacleto et al., 2014).

288 Regarding physical activity, the duration of MVPA was similar in dancers of both shifts
289 in training days. As expected, when morning and night time-windows were considered by
290 separate in training days, MVPA was longer during the time-window that matched dancers'
291 training shift. In addition, both morning-shift and night-shift dancers displayed longer MVPA
292 in their respective shift-time in training days than in weekend days, while morning-shift
293 dancers spent less time in MVPA in weekend days compared to training days and to night-
294 shift dancers in weekend days. A previous study with adolescents attending either the
295 morning or the afternoon school shift found no difference in the time spent daily in different
296 physical activity levels (Malheiros et al., 2021), although this study did not discriminate
297 between school vs weekend days or time windows and its participants were not receiving
298 specific physical training.

299 We conceived the use of alarms as a proxy of the impact of training shifts as social
300 pressure. As expected, their use was prevalent on training days, particularly among
301 morning-shift dancers because they attended dance classes early in the morning as
302 previously reported in other populations of students (Estevan et al., 2022a; Shochat et al.,
303 2021). Notably, in the present work, the use of alarms was also frequent in night-shift
304 dancers, suggesting that other pressures than those school-related also restricted their
305 sleep. Alarm usage decreased significantly on weekend days, particularly among morning-
306 shift dancers, but still exceeded 25% of the weekend days.

307 **4.2. What factors shape the sleep pattern?**

308 In this study, we address how training shifts *per se* affect sleep patterns, and to
309 discriminate the influence of the other variables that training in shifts entail (type of day,
310 alarm use, light exposure, and physical activity.). When all variables were considered
311 together, a) no difference was found in sleep duration between shifts; and b) the influence of

312 shifts in sleep timing was still relevant but lower than when we considered only the influence
313 of the training shift and type of day. These results suggest that the influence of training shifts
314 on sleep timing and duration was partially mediated by the other variables considered in this
315 study.

316 As expected, on weekend days we found that sleep timing was delayed even after
317 controlling by several other variables, with the onset delayed twice as long as the end
318 (Hansen et al., 2005; Kocevská et al., 2021; Roenneberg & Merrow, 2007). On training days,
319 mean sleep durations were above the recommended 7 h for this age group (Hirshkowitz
320 et al., 2015), and thus participants did not seem to have a sleep debt to pay on weekend
321 days. Indeed, only in morning shift dancers sleep duration was longer on weekend days, but
322 interestingly, sleep duration (when controlling by the other variables) was reduced in the
323 entire sample in almost 45 min in weekend days. On weekend days, participants used wake-
324 up alarms frequently and had similar levels of light exposure and MVPA compared to training
325 days, suggesting that the delayed sleep pattern could be colliding with other activities and
326 pressures we did not consider. In line with this, previous studies using school shifts in
327 adolescents found that only morning-shift students showed reduced sleep durations on
328 school days that they were unable to counteract by oversleeping during weekends (Arrona-
329 Palacios et al., 2015; Estevan et al., 2020, 2022a; Goldin et al., 2020). We thus understand
330 that weekend days are not that free, and that sleep is socially demanded by scheduled
331 activities (not necessarily scholar or work-related) also in weekend days. This should be
332 taken into account when studying sleep and making recommendations for sleep health
333 improvement to youngsters.

334 Alarm clock usage was associated with almost 2h advanced sleep end and a similar
335 reduction in sleep duration, which it proved to be its strongest predictor. We found no
336 association between the use of wake-up alarms and sleep onset as previously described
337 (Estevan et al., 2022b). This suggests that it is difficult for young people to plan their
338 activities to obtain adequate sleep durations: i.e., dancers seem unable to set their sleep
339 onset according to the next day's schedule. High prevalence of alarm usage on weekend

340 days was also found by Shochat et al. (2021), which imposed restrictions on the sleep
341 pattern of the participants as well.

342 Daily mean light intensity, strongly influenced by exposure to daylight, was associated
343 with an advanced and longer sleep as also observed in a previous study in adolescents
344 (Estevan et al., 2022a). Moreover, our data add evidence to the few reports that found an
345 association between light exposure and sleep duration using objective measures (Boubekri
346 et al., 2014; Estevan et al., 2022a; Figueiro & Rea, 2016). When segmented into the
347 morning and the night-time windows, light exposure had an opposite effect on sleep timing
348 depending on the time of day. As expected, based on laboratory studies of phase curve
349 responses (Khalsa et al., 2003; Kripke et al., 2007), higher light intensities in the morning
350 advanced sleep onset and increased sleep duration, while higher light exposure during the
351 night delayed both sleep onset and end with no effects on sleep duration. Dim-light salivary
352 melatonin curve studied in a subsample of this population of dancers showed an advanced
353 onset among morning shift dancers compared to night shift ones (Coirolo et al., Under
354 review), that can be related with the higher morning light exposure we found among the
355 morning-shift students with respect to night-shift ones.

356 Despite a positive predictive power of daily MVPA on sleep duration has been
357 previously reported in adolescents (Master et al., 2019), we failed to find associations
358 between the intensity of daily physical activity and both sleep duration and timing. Our
359 negative results likely depend on the specific characteristics of our study population, who are
360 good sleepers (sleep duration >7h) in general and practice physical activity regularly
361 because of their training. Therefore, there might be no room for dancers' sleep
362 improvements associated with variations in MVPA. However, we did find that night MVPA
363 was associated with a delayed sleep onset and a reduced duration. Night physical activity
364 can be seen as a measure of pre-sleep physiological arousal, which has been related with
365 poorer sleep and insomnia (Espie, 2002). Physical activity can also serve as entrainer of the
366 circadian system, delaying its phase angle by acting at night (Youngstedt et al., 2019) as has
367 been observed in a previous report on a subsample of this study population of dancers

368 (Coirolo et al., Under review). However, previous studies on evening MVPA have yielded
369 mixed results. On one hand, in a laboratory study Oda and Shirakawa (2014) found a delay
370 in the sleep onset and a reduction in sleep duration associated with high-intensity treadmill
371 exercise. On the other hand, no difference in sleep variables were found in an
372 epidemiological study using questionnaires (Buman et al., 2014), nor were found in
373 laboratory settings (Alley et al., 2015; Dominiak et al., 2021; Flausino et al., 2012; Miller
374 et al., 2020; Myllymäki et al., 2012; O'Connor et al., 1998; Saidi et al., 2020; Youngstedt
375 et al., 1999). Indeed, a recent report using a large data set of wearable-device recorded
376 sleep and physical activity Kahn et al. (2021) found that spending more than 30 min of night
377 MVPA was associated with an advanced sleep onset and offset and an increased duration.
378 In conclusion, more ecological studies in which sleep is restricted by social pressures and
379 light exposure is controlled are needed to understand the tradeoff between the benefits and
380 harm of physical activity at night.

381 Our study has the costs and benefits of being an ecological study in which influential
382 variables on sleep were not controlled at all. In addition, the participants of this study belong
383 to a very specific group of dancers that prevents us of making general extrapolations.
384 Although repeated measures increase the number of observations and enhance the power
385 of the statistical analysis, using a greater number of participants would have allowed us to
386 reach more conclusive results and deep in the interactions between explanatory variables.
387 This would also require a greater number of observations on weekend days. It would have
388 been also important to know more about the social pressures that are present in these so-
389 called weekend days, that forced dancers to use alarms and that also influenced the
390 patterns of light exposure and physical activity.

391 **Concluding remarks**

392 According to the theoretical framework for epidemiological studies on sleep (Redline
393 et al., 2019), the determinants of sleep can be classified into social, environmental, and
394 behavioral variables. This real-life model system of dancers being trained in two extreme
395 shifts has the strength of allowing the analysis of the influence of these three variables on

396 sleep in a single study. We confirmed that social traits (shift, type of day, and alarm usage),
397 light exposure, and physical activity have substantial effects on sleep patterns. Morning-shift
398 and night-shift dancers were daily exposed to a similar light intensity and displayed similar
399 MVPA. But, the social pressure of training in shifts imposes a change in the timing of both
400 environmental and behavioral factors that interplay in their influence on sleep patterns. This
401 study also adds evidence to the complexity of the interplay of variables influencing sleep in
402 real-life conditions. For example, a) the unexpected sleep reduction associated with
403 weekend days that was, partially or totally, overcome by the reduction in alarm clock usage
404 observed on these days; b) the higher light exposure morning-shift dancers received during
405 the morning that advanced more and increased their training day sleep; c) the longer
406 physical activity and higher light exposure in training-days nights in night-shift dancers that
407 delayed more and reduced their sleep. This ecological study thus demonstrates how
408 relevant and tricky these diverse variables can be in shaping the natural sleep pattern,
409 revealing complex associations that remained underestimated in laboratory-controlled
410 conditions.

411 **5. Acknowledgments**

412 The authors would like to thank the students that kindly volunteered as participants of
413 this study.

414 **6. Funding**

415 This work was supported by Comisión Sectorial de Investigación Científica,
416 Universidad de la República, Uruguay [Programa de Grupos I+D - 2018 # 92]. IE was
417 supported by a scholarship from Comisión Académica de Posgrados, Universidad de la
418 República, Uruguay, and a grant from Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas
419 (PEDECIBA), Uruguay.

420

421

422 **7. References**

- 423 Alley, J. R., Mazzochi, J. W., Smith, C. J., Morris, D. M., & Collier, S. R. (2015). Effects of
424 Resistance Exercise Timing on Sleep Architecture and Nocturnal Blood Pressure.
425 *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1378-1385.
426 <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000750>
- 427 American Sleep Association. (2021). *Sleep Hygiene Tips, Research & Treatments*. American
428 Sleep Association. <https://www.sleepassociation.org/about-sleep/sleep-hygiene-tips/>
- 429 Anacleto, T. S., Adamowicz, T., Simões da Costa Pinto, L., & Louzada, F. M. (2014). School
430 schedules affect sleep timing in children and contribute to partial sleep deprivation.
431 *Mind, Brain, and Education*, 8(4), 169-174. <https://doi.org/10.1111/MBE.12057>
- 432 Arrona-Palacios, A., García, A., & Valdez, P. (2015). Sleep–wake habits and circadian
433 preference in Mexican secondary school. *Sleep Medicine*, 16(10), 1259-1264.
434 <https://doi.org/10.1016/J.SLEEP.2015.05.026>
- 435 Atoui, S., Chevance, G., Romain, A.-J., Kingsbury, C., Lachance, J.-P., & Bernard, P.
436 (2021). Daily associations between sleep and physical activity: A systematic review
437 and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 57, 101426.
438 <https://doi.org/10.1016/j.smr.2021.101426>
- 439 Bartel, K., van Maanen, A., Cassoff, J., Friberg, O., Meijer, A. M., Oort, F., Williamson, P.,
440 Gruber, R., Knäuper, B., & Gradisar, M. (2017). The short and long of adolescent
441 sleep: The unique impact of day length. *Sleep Medicine*, 38, 31-36.
442 <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2017.06.018>
- 443 Barton, K. (2019). *MuMIn: Multi-model inference*. [https://CRAN.R-](https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn)
444 [project.org/package=MuMIn](https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn)
- 445 Boubekri, M., Cheung, I. N., Reid, K. J., Wang, C.-H., & Zee, P. C. (2014). Impact of
446 windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers:
447 A case-control pilot study. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 10(06), 603-611.
448 <https://doi.org/10.5664/jcsm.3780>

449 Bowers, J. M., & Moyer, A. (2017). Effects of school start time on students' sleep duration,
450 daytime sleepiness, and attendance: A meta-analysis. *Sleep Health*, 3(6), 423-431.
451 <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2017.08.004>

452 Buman, M. P., Phillips, B. A., Youngstedt, S. D., Kline, C. E., & Hirshkowitz, M. (2014). Does
453 nighttime exercise really disturb sleep? Results from the 2013 National Sleep
454 Foundation Sleep in America Poll. *Sleep Medicine*, 15(7), 755-761.
455 <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2014.01.008>

456 Carskadon, M. A. (2004). Sleep deprivation: Health consequences and societal impact. *The*
457 *Medical Clinics of North America*, 88(3), 767-776.
458 <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2004.03.001>

459 Carvalho-Mendes, R. P., Dunster, G. P., de la Iglesia, H. O., & Menna-Barreto, L. (2020).
460 Afternoon school start times abolish social jetlag and increase sleep duration in
461 adolescents. *Journal of Biological Rhythms*, 35(4), 377-390.
462 <https://doi.org/10.1177/0748730420927603>

463 Chennaoui, M., Arnal, P. J., Sauvet, F., & Léger, D. (2015). Sleep and exercise: A reciprocal
464 issue? *Sleep Medicine Reviews*, 20, 59-72.
465 <https://doi.org/10.1016/j.smr.2014.06.008>

466 Coirolo, N., Casaravilla, C., Tassinio, B., & Silva, A. (Under review). Evaluation of
467 environmental, social, and behavioral modulations of the circadian phase of dancers
468 trained in shifts. *eScience*.

469 Coirolo, N., Silva, A., & Tassinio, B. (2020). The impact of training shifts in dancers'
470 chronotype and sleep patterns. *Sleep Science*, 13(Supp. 2), 31-35.

471 Crowley, S. J., Molina, T. A., & Burgess, H. J. (2015). A week in the life of full-time office
472 workers: Work day and weekend light exposure in summer and winter. *Applied*
473 *Ergonomics*, 46, 193-200. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.08.006>

474 Crowley, S. J., Wolfson, A. R., Tarokh, L., & Carskadon, M. A. (2018). An update on
475 adolescent sleep: New evidence informing the perfect storm model. *Journal of*
476 *Adolescence*, 67, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2018.06.001>

477 Czeisler, C. A. (2013). Casting light on sleep deficiency. *Nature*, 497(7450), S13-S13.

478 Czeisler, C. A. (2015). Duration, timing and quality of sleep are each vital for health,
479 performance and safety. *Sleep Health*, 1(1), 5-8.
480 <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2014.12.008>

481 Czeisler, C. A., & Gooley, J. J. (2007). Sleep and circadian rhythms in humans. *Cold Spring*
482 *Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 72(1), 579-597.
483 <https://doi.org/10.1101/SQB.2007.72.064>

484 Dominiak, M., Kovac, K., Reynolds, A. C., Ferguson, S. A., & Vincent, G. E. (2021). The
485 effect of a short burst of exercise during the night on subsequent sleep. *Journal of*
486 *Sleep Research*, 30(2), e13077. <https://doi.org/10.1111/jsr.13077>

487 Espie, C. A. (2002). Insomnia: Conceptual Issues in the Development, Persistence, and
488 Treatment of Sleep Disorder in Adults. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 215-
489 243. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135243>

490 Estevan, I. (2020). Psychometric properties of the Morningness/Eveningness Scale for
491 Children among Uruguayan adolescents: The role of school start times. *Biological*
492 *Rhythm Research*. <https://doi.org/10.1080/09291016.2020.1846284>

493 Estevan, I., Silva, A., Vetter, C., & Tassinio, B. (2020). Short sleep duration and extremely
494 delayed chronotypes in Uruguayan youth: The role of school start times and social
495 constraints. *Journal of Biological Rhythms*, 35(4), 391-404.
496 <https://doi.org/10.1177/0748730420927601>

497 Estevan, I., Tassinio, B., Vetter, C., & Silva, A. (2022a). Bidirectional association between
498 light exposure and sleep in adolescents. *Journal of Sleep Research*, 31(2), e13501.
499 <https://doi.org/10.1111/jsr.13501>

500 Estevan, I., Tassinio, B., Vetter, C., & Silva, A. (2022b). Challenged by extremely irregular
501 school schedules, Uruguayan adolescents only set their waking time. *Journal of*
502 *Adolescence*. <https://doi.org/10.1002/jad.12036>

503 Figueiro, M., & Rea, M. (2016). Office lighting and personal light exposures in two seasons:
504 Impact on sleep and mood. *Lighting Research & Technology*, 48(3), 352-364.
505 <https://doi.org/10.1177/1477153514564098>

506 Flausino, N. H., Da Silva Prado, J. M., de Queiroz, S. S., Tufik, S., & de Mello, M. T. (2012).
507 Physical exercise performed before bedtime improves the sleep pattern of healthy
508 young good sleepers. *Psychophysiology*, 49(2), 186-192.
509 <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01300.x>

510 Frimpong, E., Mograss, M., Zvionow, T., & Dang-Vu, T. T. (2021). The effects of evening
511 high-intensity exercise on sleep in healthy adults: A systematic review and meta-
512 analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 101535.
513 <https://doi.org/10.1016/j.smr.2021.101535>

514 Goldin, A. P., Sigman, M., Braier, G., Golombek, D. A., & Leone, M. J. (2020). Interplay of
515 chronotype and school timing predicts school performance. *Nature Human*
516 *Behaviour*, 4, 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0820-2>

517 Grundy, A., Sanchez, M., Richardson, H., Tranmer, J., Borugian, M., Graham, C. H., &
518 Aronson, K. J. (2009). Light intensity exposure, sleep duration, physical activity, and
519 biomarkers of melatonin among rotating shift nurses. *Chronobiology International*,
520 26(7), 1443-1461. <https://doi.org/10.3109/07420520903399987>

521 Hansen, M., Janssen, I., Schiff, A., Zee, P. C., & Dubocovich, M. L. (2005). The impact of
522 school daily schedule on adolescent sleep. *Pediatrics*, 115(6), 1555-1561.
523 <https://doi.org/10.1542/PEDS.2004-1649>

524 Hildebrand, M., Van Hees, V. T., Hansen, B. H., & Ekelund, U. (2014). Age group
525 comparability of raw accelerometer output from wrist- and hip-worn monitors.
526 *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(9), 1816-1824.
527 <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000289>

528 Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., Hazen, N.,
529 Herman, J., Adams Hillard, P. J., Katz, E. S., Kheirandish-Gozal, L., Neubauer, D. N.,
530 O'Donnell, A. E., Ohayon, M., Peever, J., Rawding, R., Sachdeva, R. C., Setters, B.,

531 Vitiello, M. V., & Ware, J. C. (2015). National Sleep Foundation's updated sleep
532 duration recommendations: Final report. *Sleep Health, 1*(4), 233-243.
533 <https://doi.org/10.1016/J.SLEH.2015.10.004>

534 Kahn, M., Korhonen, T., Leinonen, L., Martinmäki, K., Kuula, L., Pesonen, A.-K., & Gradisar,
535 M. (2021). Is It Time We Stop Discouraging Evening Physical Activity? New Real-
536 World Evidence From 150,000 Nights. *Frontiers in Public Health, 9*, 772376.
537 <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.772376>

538 Khalsa, S. B. S., Jewett, M. E., Cajochen, C., & Czeisler, C. A. (2003). A Phase Response
539 Curve to Single Bright Light Pulses in Human Subjects. *The Journal of Physiology,*
540 *549*(3), 945-952. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.040477>

541 Kline, C. E. (2014). The Bidirectional Relationship Between Exercise and Sleep: Implications
542 for Exercise Adherence and Sleep Improvement. *American Journal of Lifestyle*
543 *Medicine, 8*(6), 375-379. <https://doi.org/10.1177/1559827614544437>

544 Kline, C. E., Hillman, C. H., Bloodgood Sheppard, B., Tennant, B., Conroy, D. E., Macko, R.
545 F., Marquez, D. X., Petruzzello, S. J., Powell, K. E., & Erickson, K. I. (2021). Physical
546 activity and sleep: An updated umbrella review of the 2018 Physical Activity
547 Guidelines Advisory Committee report. *Sleep Medicine Reviews, 58*, 101489.
548 <https://doi.org/10.1016/j.smr.2021.101489>

549 Kocevskaja, D., Lysen, T. S., Dotinga, A., Koopman-Verhoeff, M. E., Luijk, M. P. C. M.,
550 Antypa, N., Biermasz, N. R., Blokstra, A., Brug, J., Burk, W. J., Comijs, H. C.,
551 Corpeleijn, E., Dashti, H. S., de Bruin, E. J., de Graaf, R., Derks, I. P. M., Dewald-
552 Kaufmann, J. F., Elders, P. J. M., Gemke, R. J. B. J., ... Tiemeier, H. (2021). Sleep
553 characteristics across the lifespan in 1.1 million people from the Netherlands, United
554 Kingdom and United States: A systematic review and meta-analysis. *Nature Human*
555 *Behaviour, 5*(1), 113-122. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-00965-x>

556 Koscec Bjelajac, A., Bakotic, M., & Ross, B. (2020). Weekly alternation of morning and
557 afternoon school start times: Implications for sleep and daytime functioning of
558 adolescents. *Sleep, 43*(8), zsaa030. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsaa030>

559 Kredlow, M. A., Capozzoli, M. C., Hearon, B. A., Calkins, A. W., & Otto, M. W. (2015). The
560 effects of physical activity on sleep: A meta-analytic review. *Journal of Behavioral*
561 *Medicine*, 38(3), 427-449. <https://doi.org/10.1007/s10865-015-9617-6>

562 Kripke, D., Elliott, J. A., Youngstedt, S. D., & Rex, K. (2007). Circadian phase response
563 curves to light in older and young women and men. *Journal of Circadian Rhythms*,
564 5(0), Art. 4. <https://doi.org/10.1186/1740-3391-5-4>

565 Kubitz, K. A., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., & Han, M. (1996). The Effects of Acute and
566 Chronic Exercise on Sleep. *Sports Medicine*, 21(4), 277-291.
567 <https://doi.org/10.2165/00007256-199621040-00004>

568 Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in
569 Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, 82(1), 1-26.
570 <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>

571 Lewis, P., Korf, H. W., Kuffer, L., Groß, J. V., & Erren, T. C. (2018). Exercise time cues
572 (zeitgebers) for human circadian systems can foster health and improve
573 performance: A systematic review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 4(1),
574 e000443. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000443>

575 Malheiros, L. EA., da Costa, B. GG., Lopes, M. VV., & Silva, K. S. (2021). School schedule
576 affect sleep, but not physical activity, screen time and diet behaviors. *Sleep*
577 *Medicine*. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2021.06.025>

578 Martin, J. S., Gaudreault, M. M., Perron, M., & Laberge, L. (2016). Chronotype, light
579 exposure, sleep, and daytime functioning in High School students attending morning
580 or afternoon school shifts: An actigraphic study. *Journal of Biological Rhythms*, 31(2),
581 205-217. <https://doi.org/10.1177/0748730415625510>

582 Master, L., Nye, R. T., Lee, S., Nahmod, N. G., Mariani, S., Hale, L., & Buxton, O. M. (2019).
583 Bidirectional, Daily Temporal Associations between Sleep and Physical Activity in
584 Adolescents. *Scientific Reports*, 9(1), 7732. [https://doi.org/10.1038/s41598-019-](https://doi.org/10.1038/s41598-019-44059-9)
585 44059-9

586 Memon, A. R., Gupta, C. C., Crowther, M. E., Ferguson, S. A., Tuckwell, G. A., & Vincent, G.
587 E. (2021). Sleep and physical activity in university students: A systematic review and
588 meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 58, 101482.
589 <https://doi.org/10.1016/j.smr.2021.101482>

590 Miller, D. J., Sargent, C., Roach, G. D., Scanlan, A. T., Vincent, G. E., & Lastella, M. (2020).
591 Moderate-intensity exercise performed in the evening does not impair sleep in
592 healthy males. *European Journal of Sport Science*, 20(1), 80-89.
593 <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1611934>

594 Myllymäki, T., Rusko, H., Syväoja, H., Juuti, T., Kinnunen, M.-L., & Kyröläinen, H. (2012).
595 Effects of exercise intensity and duration on nocturnal heart rate variability and sleep
596 quality. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 801-809.
597 <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2034-9>

598 O'Connor, P. J., Breus, M. J., & Youngstedt, S. D. (1998). Exercise-induced increase in core
599 temperature does not disrupt a behavioral measure of sleep. *Physiology & Behavior*,
600 64(3), 213-217. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(98\)00049-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(98)00049-3)

601 Oda, S., & Shirakawa, K. (2014). Sleep onset is disrupted following pre-sleep exercise that
602 causes large physiological excitement at bedtime. *European Journal of Applied*
603 *Physiology*, 114(9), 1789-1799. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2873-2>

604 Papantoniou, K., Pozo, O. J., Espinosa, A., Marcos, J., Castaño-Vinyals, G., Basagaña, X.,
605 Ribas, F. C., Mirabent, J., Martín, J., Careny, G., Martín, C. R., Middleton, B.,
606 Skene, D. J., & Kogevinas, M. (2014). Circadian Variation of Melatonin, Light
607 Exposure, and Diurnal Preference in Day and Night Shift Workers of Both Sexes.
608 *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*, 23(7), 1176-1186.
609 <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-13-1271>

610 Peltzer, K., & Pengpid, S. (2016). Sleep duration and health correlates among university
611 students in 26 countries. *Psychology, Health & Medicine*, 21(2), 208-220.
612 <https://doi.org/10.1080/13548506.2014.998687>

613 Phillips, A. J. K., Clerx, W. M., O'Brien, C. S., Sano, A., Barger, L. K., Picard, R. W., Lockley,
614 S. W., Klerman, E. B., & Czeisler, C. A. (2017). Irregular sleep/wake patterns are
615 associated with poorer academic performance and delayed circadian and sleep/wake
616 timing. *Scientific Reports*, 7(1), 3216. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03171-4>

617 Porcheret, K., Wald, L., Fritschi, L., Gerkema, M., Gordijn, M., Mermrow, M., Rajaratnam, S.
618 M. W., Rock, D., Sletten, T. L., Warman, G., Wulff, K., Roenneberg, T., & Foster, R.
619 G. (2018). Chronotype and environmental light exposure in a student population.
620 *Chronobiology International*, 35(10), 1365-1374.
621 <https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1482556>

622 Prayag, A. S., Münch, M., Aeschbach, D., Chellappa, S. L., & Gronfier, C. (2019). Light
623 modulation of human clocks, wake, and sleep. *Clocks & Sleep*, 1(1), 193-208.
624 <https://doi.org/10.3390/clockssleep1010017>

625 Rabstein, S., Burek, K., Lehnert, M., Beine, A., Vetter, C., Harth, V., Putzke, S., Kantermann,
626 T., Walther, J., Wang-Sattler, R., Pallapies, D., Brüning, T., & Behrens, T. (2019).
627 Differences in twenty-four-hour profiles of blue-light exposure between day and night
628 shifts in female medical staff. *Science of The Total Environment*, 653, 1025-1033.
629 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.293>

630 Redline, S., Redline, B., & James, P. (2019). Sleep Epidemiology: An Introduction. En D. T.
631 Duncan, I. Kawachi, & S. Redline (Eds.), *The Social Epidemiology of Sleep* (pp. 11-
632 46). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190930448.003.0002>

633 Roenneberg, T., Kantermann, T., Juda, M., Vetter, C., & Allebrandt, K. V. (2013). Light and
634 the human circadian clock. En A. Kramer & M. Mermrow (Eds.), *Handbook of*
635 *experimental pharmacology* (Vol. 217, pp. 311-331). Springer Berlin Heidelberg.
636 http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-25950-0_13

637 Roenneberg, T., & Mermrow, M. (2007). Entrainment of the human circadian clock. *Cold*
638 *Spring Harbor symposia on quantitative biology*, 72, 293-299.
639 <https://doi.org/10.1101/sqb.2007.72.043>

640 Sabia, S., van Hees, V. T., Shipley, M. J., Trenell, M. I., Hagger-Johnson, G., Elbaz, A.,
641 Kivimaki, M., & Singh-Manoux, A. (2014). Association Between Questionnaire- and
642 Accelerometer-Assessed Physical Activity: The Role of Sociodemographic Factors.
643 *American Journal of Epidemiology*, *179*(6), 781-790.
644 <https://doi.org/10.1093/aje/kwt330>

645 Saidi, O., Davenne, D., Leborgne, C., & Duché, P. (2020). Effects of timing of moderate
646 exercise in the evening on sleep and subsequent dietary intake in lean, young,
647 healthy adults: Randomized crossover study. *European Journal of Applied*
648 *Physiology*, *120*(7), 1551-1562. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04386-6>

649 Shochat, T., Santhi, N., Herer, P., Dijk, D.-J., & Skeldon, A. C. (2021). Sleepiness is a signal
650 to go to bed: Data and model simulations. *Sleep*, *44*(10), 1-15.
651 <https://doi.org/10.1093/sleep/zsab123>

652 Stepanski, E. J., & Wyatt, J. K. (2003). Use of sleep hygiene in the treatment of insomnia.
653 *Sleep Medicine Reviews*, *7*(3), 215-225. <https://doi.org/10.1053/smr.2001.0246>

654 Stutz, J., Eiholzer, R., & Spengler, C. M. (2019). Effects of Evening Exercise on Sleep in
655 Healthy Participants: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*,
656 *49*(2), 269-287. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-1015-0>

657 Tassino, B., Horta, S., Santana, N., Levandovski, R., & Silva, A. (2016). Extreme late
658 chronotypes and social jetlag challenged by Antarctic conditions in a population of
659 university students from Uruguay. *Sleep Science*, *9*(1), 20-28.
660 <https://doi.org/10.1016/J.SLSCI.2016.01.002>

661 Tubbs, A. S., Dollish, H. K., Fernandez, F., & Grandner, M. A. (2019). The basics of sleep
662 physiology and behavior. En M. A. Grandner (Ed.), *Sleep and Health* (pp. 3-10).
663 Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815373-4.00001-0>

664 van Hees, V. T., Gorzelniak, L., León, E. C. D., Eder, M., Pias, M., Taherian, S., Ekelund, U.,
665 Renström, F., Franks, P. W., Horsch, A., & Brage, S. (2013). Separating Movement
666 and Gravity Components in an Acceleration Signal and Implications for the

667 Assessment of Human Daily Physical Activity. *PLOS ONE*, 8(4), e61691.
668 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061691>

669 van Hees, V. T., Sabia, S., Anderson, K. N., Denton, S. J., Oliver, J., Catt, M., Abell, J. G.,
670 Kivimäki, M., Trenell, M. I., & Singh-Manoux, A. (2015). A novel, open access
671 method to assess sleep duration using a wrist-worn accelerometer. *PLOS ONE*,
672 10(11), e0142533. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142533>

673 Wams, E. J., Woelders, T., Marring, I., van Rosmalen, L., Beersma, D. G. M., Gordijn, M. C.
674 M., & Hut, R. A. (2017). Linking light exposure and subsequent sleep: A field
675 polysomnography study in humans. *Sleep*, 40(zsx165).
676 <https://doi.org/10.1093/sleep/zsx165>

677 World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki:
678 Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20),
679 2191-2194. <https://doi.org/10.1001/JAMA.2013.281053>

680 Wright Jr, K. P., McHill, A. W., Birks, B. R., Griffin, B. R., Rusterholz, T., & Chinoy, E. D.
681 (2013). Entrainment of the human circadian clock to the natural light-dark cycle.
682 *Current Biology*, 23(16), 1554-1558. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2013.06.039>

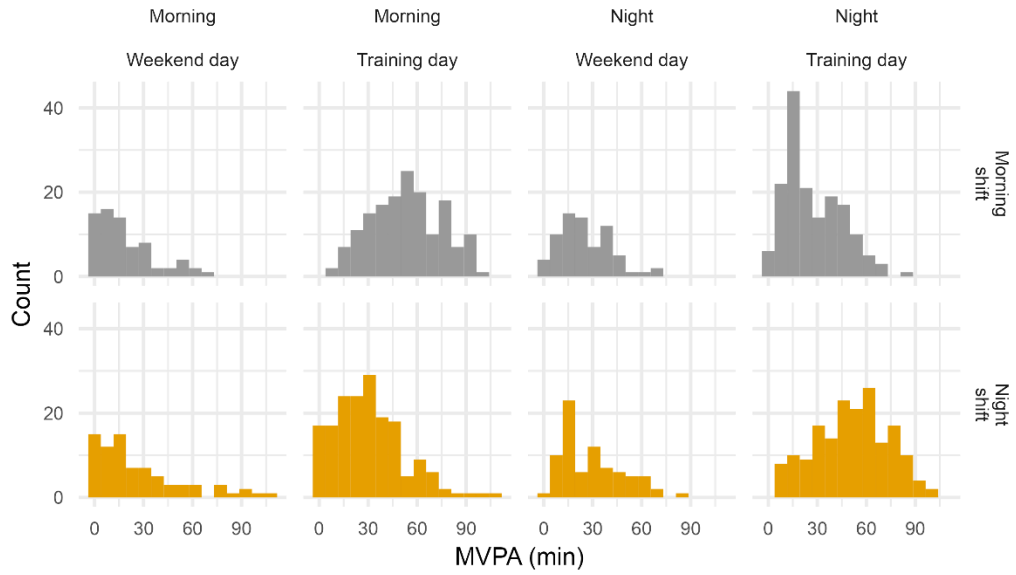
683 Youngstedt, S. D., Elliott, J. A., & Kripke, D. F. (2019). Human circadian phase–response
684 curves for exercise. *The Journal of Physiology*, 597(8), 2253-2268.
685 <https://doi.org/10.1113/JP276943>

686 Youngstedt, S. D., & Kline, C. E. (2006). Epidemiology of exercise and sleep. *Sleep and*
687 *biological rhythms*, 4(3), 215-221. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8425.2006.00235.x>

688 Youngstedt, S. D., Kripke, D. F., & Elliott, J. A. (1999). Is sleep disturbed by vigorous late-
689 night exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(6), 864-869.
690 <https://doi.org/10.1097/00005768-199906000-00015>

691 Youngstedt, S. D., O'Connor, P. J., & Dishman, R. K. (1997). The Effects of Acute Exercise
692 on Sleep: A Quantitative Synthesis. *Sleep*, 20(3), 203-214.
693 <https://doi.org/10.1093/sleep/20.3.203>

694 Zerbini, G., Winnebeck, E. C., & Mellow, M. (2021). Weekly, seasonal, and chronotype-
695 dependent variation of dim-light melatonin onset. *Journal of Pineal Research*,
696 e12723. <https://doi.org/10.1111/jpi.12723>
697
698



699

700

Figure A1. Histograms showing the minutes of moderate to vigorous physical activity

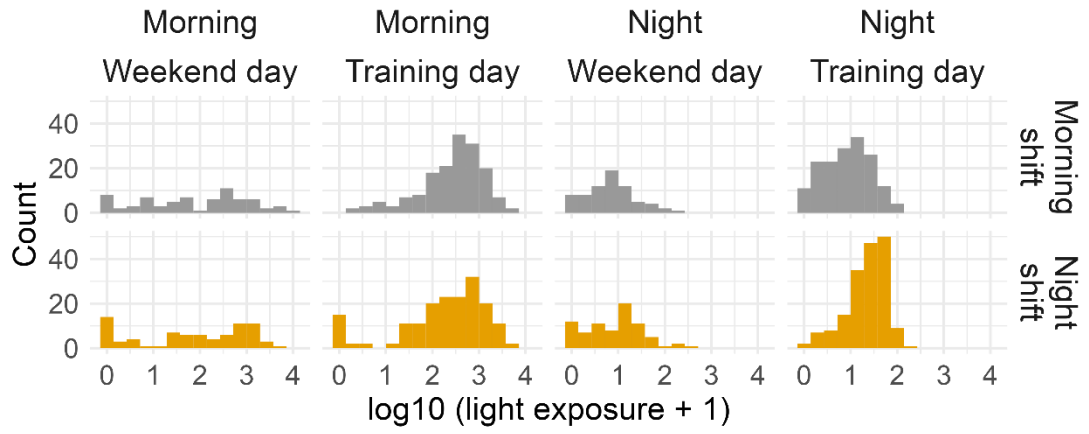
701

distribution by type of day (training/weekend), time-window (morning: 08:30 to 12:29; night:

702

20:00 to 23:59), and training shift.

703



704

705 Figure A2. Histograms showing the light exposure distribution by type of day, time-

706 window, and training shift.

707

Table A1. Sleep pattern, in morning and night shift, on school and weekend days.

Sleep	Morning shift (N = 15)		Night shift (N = 16)	
	Training day	Weekend day	Training day	Weekend day
Onset	00:04 ± 00:43	02:10 ± 01:06	01:38 ± 00:51	03:31 ± 01:43
End	07:04 ± 00:33	09:49 ± 01:00	08:58 ± 01:26	10:23 ± 01:25
Duration (h)	7.0 ± 0.6	7.7 ± 0.8	7.3 ± 0.9	6.9 ± 1.2

708

709

710

711

Table A2. Mixed-effects linear regressions for estimating sleep parameters, considering daily light exposure and physical activity.

	Sleep onset			Sleep end			Sleep duration					
	b ± SE	t	df	p	b ± SE	t	df	p	b ± SE	t	df	p
Intercept	0.1 ± 0.3	0.4	66.3	0.718	8.8 ± 0.3	29.9	46.5	< 0.001	8.6 ± 0.2	37.8	84.2	< 0.001
Training shift (1 = Night)	1.5 ± 0.3	5.1	31.3	< 0.001	1.3 ± 0.4	3.6	31	0.001	-0.1 ± 0.2	-0.6	30.6	0.582
Type of day (1 = Weekend day)	2.0 ± 0.2	12.6	462.9	< 0.001	1.2 ± 0.1	8.5	458.3	< 0.001	-0.8 ± 0.2	-4.7	466.2	< 0.001
Alarm (1 = Yes)	0.0 ± 0.2	0.2	478.9	0.829	-1.7 ± 0.1	-12.3	467.7	< 0.001	-1.7 ± 0.2	-10.3	484.4	< 0.001
Daily light exposure (log ₁₀ lux +1)	-0.2 ± 0.1	-2.2	484.7	0.027	-0.2 ± 0.1	-3.1	474.6	0.002	-0.0 ± 0.1	-0.5	480.5	0.614
Moderate to Vigorous daily activity (min)	0.0 ± 0.1	0.6	477.4	0.580	0.1 ± 0.1	1.3	482.3	0.180	0.0 ± 0.1	0.1	439.8	0.882
Pseudo-R ² marginal / conditional	0.38/0.52			0.46/0.69			0.18/0.30					

712

713 Note: Time was converted to decimal hours and sleep mid-point was also centered at midnight. Activity was mean centered and

714 standardized, so b should be interpreted as the change in the sleep variables associated with 1 standard deviation increase in physical activity.

715 SE: Standard Error.

716 Df: Degrees of freedom.

Table A3. Mixed-effects linear regressions for estimating sleep parameters adjusted for the previous sleep end.

	Sleep onset				Sleep end				Sleep duration			
	b ± SE	t	df	p	b ± SE	t	df	p	b ± SE	t	df	p
Intercept	0.4 ± 0.2	1.5	75.9	0.137	9.0 ± 0.3	30.9	48.4	< 0.001	8.7 ± 0.2	36.6	91.5	< 0.001
Training shift (1 = Night)	1.0 ± 0.3	3.9	35.5	< 0.001	1.2 ± 0.4	3.2	32.5	0.003	0.0 ± 0.3	0.1	39	0.92
Type of day (1 = Weekend day)	1.8 ± 0.2	11.6	428.1	< 0.001	1.0 ± 0.1	7.3	421.8	< 0.001	-0.8 ± 0.2	-4.7	431.6	< 0.001
Alarm (1 = Yes)	0.1 ± 0.2	0.4	443.4	0.694	-1.8 ± 0.1	-12.5	429.8	< 0.001	-1.9 ± 0.2	-10.9	446.9	< 0.001
Morning light exposure (log ₁₀ lux +1)	-0.3 ± 0.1	-4.1	448.6	< 0.001	-0.1 ± 0.1	-1.1	439.5	0.252	0.2 ± 0.1	2.8	445.1	0.005
Night light exposure (log ₁₀ lux+1)	0.2 ± 0.1	2.5	449	0.012	0.2 ± 0.1	2.4	437.8	0.019	-0.0 ± 0.1	0	446.6	0.968
Moderate to vigorous morning activity (minutes)	0.0 ± 0.1	0.2	442.4	0.826	-0.0 ± 0.1	-0.5	444.1	0.615	-0.0 ± 0.1	-0.3	431.7	0.762
Moderate to vigorous night activity (minutes)	0.3 ± 0.1	4.2	449	< 0.001	0.1 ± 0.1	1.2	437.9	0.226	-0.2 ± 0.1	-2.8	446.9	0.006
Previous sleep end	0.1 ± 0.1	1.1	445	0.288	-0.0 ± 0.1	0	442.6	0.974	0.0 ± 0.1	0.4	436.2	0.718

Capítulo 5.

El sueño de jóvenes universitarios desafiados por una prueba y su asociación con el rendimiento

5.1. Hipótesis

- H1. La duración de sueño se asocia con el rendimiento académico de jóvenes.

5.2. Objetivos específicos

- Estudiar la influencia de una prueba en el sueño previo de estudiantes universitarios de primer año.
- Evaluar si el sueño previo a una prueba está asociado al desempeño en la misma.

5.3. Predicciones

- P1. El sueño en jóvenes universitarios antes de una prueba será más breve que su sueño regular.
- P2. La duración del sueño en jóvenes universitarios tendrá una asociación positiva con el rendimiento en la prueba.

5.4. Resumen

El sueño es fundamental para el buen desempeño durante la vigilia, lo que incluye el rendimiento en distintos procesos cognitivos como la atención, las funciones ejecutivas y la memoria (Lowe, Safati, & Hall, 2017). Para los adultos jóvenes, la duración de sueño recomendada es entre 7 y 9 horas (Watson et al., 2015), y la evidencia señala que muchos jóvenes universitarios no alcanzan a dormir lo suficiente (Centers for Disease Control and Prevention, 2017; Jahrami et al., 2019). El déficit de sueño durante los estudios universitarios ha sido asociado con diversas consecuencias, entre las que se destaca un peor rendimiento académico (Gomez Fonseca & Genzel, 2020; Hershner, 2020). Distintos trabajos en universitarios muestran además que durante los exámenes, cuando aumentan los niveles de estrés y ansiedad, el sueño se ve afectado en su cantidad y calidad (Astill, Verhoeven, Vijzelaar, & Van Someren, 2013; Lund, Reider, Whiting, & Prichard, 2010; Seun-Fadipe & Mosaku, 2017; Zunhammer, Eichhammer, & Busch, 2014). Además, se ha reportado que son frecuentes las largas sesiones de estudio en el día y noche previos a una prueba, así como el atiborrarse (*cram*) con estudio a último momento (Hartwig & Dunlosky, 2012). En relación con esto, el permanecer sin dormir estudiando la noche previa aparece como una práctica frecuente que parece tener los efectos contrarios a los buscados (Orzech, Salafsky, & Hamilton, 2011; Thacher, 2008), aunque otros estudios no encuentran esta asociación negativa (Engle-Friedman, 2004; Okano, Kaczmarzyk, Dave, Gabrieli, & Grossman, 2019).

Trabajos previos con estudiantes universitarios uruguayos mostraron que sus preferencias circadianas son tardías, aunque las duraciones de sueño promedio resultaron adecuadas tanto en días libres como en días de semana (Silva et al., 2019; Tassino, Horta, Santana, Levandovski, & Silva, 2016). Este estudio de la tesis se propuso indagar los cambios provocados por una evaluación curricular en el sueño en la noche previa a la prueba. Para eso, se aplicó un breve cuestionario digital a la salida de un parcial a 97 estudiantes de Facultad de Ciencias y a otros 252 de Facultad de Psicología, estos últimos distribuidos en 4 turnos con inicios entre las 8:00 y las 13:15. El cuestionario incluía preguntas acerca de su patrón de sueño habitual y en la noche previa al parcial, así como algunos datos sociodemográficos. Además, se obtuvieron las calificaciones en la prueba a través de los docentes de cada curso (Ciencias: una prueba de opción múltiple de 20 preguntas; Psicología: una prueba de Verdadero/Falso de 60 preguntas). Se utilizaron pruebas de t pareadas para comparar el patrón de sueño habitual (inicio, final y duración) con el previo a la prueba. Además, se utilizaron regresiones logísticas para estudiar la influencia de las horas de sueño (Ciencias) o el turno y las horas de sueño (Psicología) en la proporción alcanzada de respuestas correctas.

La duración de sueño promedio fue menor a la recomendada entre los estudiantes de Ciencias (6.6 ± 1.5 h, con 56.7% de los estudiantes reportando duraciones < 7 h), mientras que el promedio sí fue suficiente entre los estudiantes de Psicología (7.7 ± 1.6 h, 31.7% de estudiantes con duraciones < 7 h). Antes de la prueba, ambas muestras redujeron su duración de sueño (Ciencias: -2.1 ± 0.2 h, $p < 0.001$; Psicología: entre -3.6 ± 0.3 h en el turno de las 8:00 y -1.7 ± 0.4 h en la prueba que comenzó 13:15, todas las diferencias con $p < 0.001$). Esto fue resultado de que entre un 10.4% y un 17.7% de los estudiantes no durmieron antes de la prueba, y los que sí lo hicieron retrasaron su inicio y adelantaron el despertar (en el caso de Psicología, esto último solo se observó los turnos de prueba más matutinos).

Al estudiar la relación del rendimiento en el parcial con la duración del sueño, se observó una asociación positiva en ambos casos. En el caso de los estudiantes de Facultad de Ciencias, una hora más de sueño se asoció con un 15.0% de incremento en la proporción de respuestas correctas ($p < 0.001$; pseudo- $R^2 = 0.38$), y la proporción de respuestas correctas predicha fue de 52.3% para un estudiante que asistió sin dormir y de 77.1% para otro con un sueño previo de 8 h. En el caso de los estudiantes de Psicología una hora más de sueño se asoció con un 3.8% de incremento en la proporción de respuestas correctas ($p < 0.001$; pseudo- $R^2 = 0.12$). Al incluir el turno, aumentó la devianza explicada (pseudo- $R^2 = 0.25$), y la proporción de respuestas correctas fue mayor en los turnos más vespertinos comparados con el primer turno. Utilizando los coeficientes estimados, la proporción de respuestas correctas predicha fue de 56.7% para un estudiante de Psicología que asistió sin dormir al turno de las 8:00 y de 69.0% para otro que durmió 8 h y asistió al turno de 13:15.

En suma, estos resultados permitieron refrendar la hipótesis y las dos predicciones: el sueño se vio reducido por las pruebas (P1) y esta reducción se asoció con un peor desempeño en la prueba (P2).

Listado de referencias

- Albakri, U., Drotos, E., & Meertens, R. (2021). Sleep Health Promotion Interventions and Their Effectiveness: An Umbrella Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*, 5533.
- Astill, R. G., Verhoeven, D., Vijzelaar, R. L., & Van Someren, E. J. W. (2013). Chronic stress undermines the compensatory sleep efficiency increase in response to sleep restriction in adolescents. *Journal of Sleep Research*, *22*, 373-379.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2017, mayo 2). Sleep and sleep disorders. Recuperado 17 de abril de 2020, de https://www.cdc.gov/sleep/data_statistics.html
- Engle-Friedman, M. (2004). Self-imposed sleep loss, sleepiness, effort and performance. *Sleep and Hypnosis*, *6*, 155-162.
- Gomez Fonseca, A., & Genzel, L. (2020). Sleep and academic performance: Considering amount, quality and timing. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *33*, 65-71.
- Hartwig, M. K., & Dunlosky, J. (2012). Study strategies of college students: Are self-testing and scheduling related to achievement? *Psychonomic Bulletin & Review*, *19*, 126-134.
- Hershner, S. (2020). Sleep and academic performance: Measuring the impact of sleep. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *33*, 51-56.
- Jahrami, H., Dewald-Kaufmann, J., Faris, M. A.-I., AlAnsari, A. M. S., Taha, M., & AlAnsari, N. (2019). Prevalence of sleep problems among medical students: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Public Health (Berlin)*. <https://doi.org/10.1007/s10389-019-01064-6>
- Lowe, C. J., Safati, A., & Hall, P. A. (2017). The neurocognitive consequences of sleep restriction: A meta-analytic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *80*, 586-604.
- Lubas, M. M., & Szklo-Coxe, M. (2019). A Critical Review of Education-Based Sleep Interventions for Undergraduate Students: Informing Future Directions in Intervention Development. *Adolescent Research Review*, *4*, 249-266.
- Lund, H. G., Reider, B. D., Whiting, A. B., & Prichard, J. R. (2010). Sleep patterns and predictors of disturbed sleep in a large population of college students. *Journal of Adolescent Health*, *46*, 124-132.
- Okano, K., Kaczmarzyk, J. R., Dave, N., Gabrieli, J. D. E., & Grossman, J. C. (2019). Sleep quality, duration, and consistency are associated with better academic performance in college students. *Npj Science of Learning*, *4*, 1-5.
- Orzech, K. M., Salafsky, D. B., & Hamilton, L. A. (2011). The state of sleep among college students at a large public university. *Journal of American College Health*, *59*, 612-619.
- Roenneberg, T., Kuehnle, T., Pramstaller, P. P., Ricken, J., Havel, M., Guth, A., & Meroow, M. (2004). A marker for the end of adolescence. *Current Biology*, *14*, R1038-R1039.
- Seun-Fadipe, C. T., & Mosaku, K. S. (2017). Sleep quality and psychological distress among undergraduate students of a Nigerian university. *Sleep Health*, *3*, 190-194.
- Silva, A., Simón, D., Pannunzio, B., Casaravilla, C., Díaz, Á., & Tassino, B. (2019). Chronotype-dependent changes in sleep habits associated with dim light melatonin onset in the Antarctic summer. *Clocks & Sleep*, *1*, 352-366.
- Swinerton, L., Moldovan, A. A., Mann, C. M., Durrant, S. J., & Mireku, M. O. (2021). Lecture start time and sleep characteristics: Analysis of daily diaries of undergraduate students from the LoST-Sleep project. *Sleep Health*. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2021.04.001>
- Tassino, B., Horta, S., Santana, N., Levandovski, R., & Silva, A. (2016). Extreme late chronotypes and social jetlag challenged by Antarctic conditions in a population of university students from Uruguay. *Sleep Science*, *9*, 20-28.

- Thacher, P. V. (2008). University students and the “all nighter”: Correlates and patterns of students’ engagement in a single night of total sleep deprivation. *Behavioral Sleep Medicine, 6*, 16-31.
- Watson, N. F., Badr, M. S., Belenky, G., Bliwise, D. L., Buxton, O. M., Buysse, D., ... Tasali, E. (2015). Recommended amount of sleep for a healthy adult: A joint consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society. *Journal of Clinical Sleep Medicine, 11*, 591-592.
- Zunhammer, M., Eichhammer, P., & Busch, V. (2014). Sleep quality during exam stress: The role of alcohol, caffeine and nicotine. *PLOS ONE, 9*, e109490.

Should I study or should I go (to sleep)? The influence of test schedule on the sleep behaviour of undergraduate students and its association with performance

RESEARCH ARTICLE

Should I study or should I go (to sleep)? The influence of test schedule on the sleep behavior of undergraduates and its association with performance

Ignacio Estevan^{1*}, Romina Sardi¹, Ana Clara Tejera¹, Ana Silva², Bettina Tassino³

1 Programa de Neuropsicología y Neurobiología, Facultad de Psicología, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, **2** Laboratorio de Neurociencias, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, **3** Sección Etología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

* iestevan@psico.edu.uy**OPEN ACCESS**

Citation: Estevan I, Sardi R, Tejera AC, Silva A, Tassino B (2021) Should I study or should I go (to sleep)? The influence of test schedule on the sleep behavior of undergraduates and its association with performance. PLoS ONE 16(3): e0247104. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247104>

Editor: Mohammed Saqr, KTH Royal Institute of Technology, SWEDEN

Received: June 15, 2020

Accepted: February 1, 2021

Published: March 10, 2021

Peer Review History: PLOS recognizes the benefits of transparency in the peer review process; therefore, we enable the publication of all of the content of peer review and author responses alongside final, published articles. The editorial history of this article is available here: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247104>

Copyright: © 2021 Estevan et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: Data are available from the project Open Science Framework database (<https://osf.io/g7xfw/>).

Abstract

Sleep is crucial for college students' well-being. Although recommended sleep duration is between 7–9 hours per day, many students do not sleep that much. Scholar demands are among the causes of observed sleep deprivation in youth. We explored the influence of having a school test on previous night sleep in first-year students and the association of sleep duration and test performance. We ran two surveys in freshman students of the Universidad de la República, Montevideo, Uruguay: 1) 97 students of the School of Sciences who took the test at the same time; and 2) 252 School of Psychology students who took the test in four successive shifts. More than 1/2 of the participants (survey #1) and almost 1/3 (survey #2) reported short regular sleep duration (< 7h). In both samples, the sleep duration of the night before the test was reduced with respect to regular nights (survey #1: 2.1 ± 0.2 h, $p < 0.001$; survey #2: between 1.7 ± 0.4 h and 3.6 ± 0.3 h, all $p < 0.001$), with more than 10% of the students who did not sleep at all. In survey 2, sleep duration increased in later shifts ($F(3,248) = 4.6$, $p = 0.004$). Using logit regressions, we confirmed that sleep duration was positively related to test scores in both samples (survey #1: $\text{exp } B = 1.15$, $p < 0.001$; $\text{pseudo-}R^2 = 0.38$; survey #2: $\text{exp } B = 1.03$, $p < 0.001$; $\text{pseudo-}R^2 = 0.25$). Delaying test start time may prevent the reduction in sleep duration, which may also improve school performance. In addition, educational policies should include information for students about the impact of sleep on learning and of the consequences of reduced sleep duration.

Introduction

There is a consensus that adults should sleep between 7–9 hours per day [1, 2]. Chronic short sleep duration is associated with an increase in several risk factors [3], and with an increase in the relative risk for multiple-cause mortality [4]. However, according to the Centers for Disease Control and Prevention [5], more than 30% of American young adults report short sleep

Funding: IE was supported by a 2020-2023 Scholarship from Comisión Académica de Posgrado, Universidad de la República, Uruguay. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

duration (i.e. < 7h), and a recent meta-analysis showed a mean sleep duration among medical undergraduate students of 6.3 h per night [6].

It is well documented that biological and psycho-social changes during adolescence along with social pressures strongly influence high-school students' short sleep duration [7–9]. In particular, the compromise between the natural trend of adolescents towards Eveningness and their early school schedule has been pointed out as a key factor affecting sleep duration and quality [10, 11]. Young college undergraduate students still exhibit a delayed chronotype [12], and display a shorter sleep duration when attending morning classes with respect to evening classes [13].

Sleep is related to students' well-being and mental health [14–17]. Moreover, students' sleep duration, sleep pattern, and daytime sleepiness have been proved to affect their academic performance [18–21]. Comparing sleep problems to other factors influencing academic performance, Hartman & Prichard [22] found that sleep problems have similar influence in school retention and grades than other factors that receive more attention such as binge drinking or drug consumption.

Despite the relevance of sufficient sleep duration, there is some evidence that students reduce their sleep during exam periods and the night before a test [23]. An actigraphy study with final-year high school students showed a reduction in sleep duration, quality, and efficiency [24]. It has been interpreted that the increase in psychological distress and anxiety typical of exams periods affect both sleep duration and quality [23–27]. In addition to anxiety, using a survey with undergraduate students, Hartwig & Dunlosky [28] showed that more than half the participants often do all their study in one session previous to the test, and most of them also “cram” lots of information in this previous night sacrificing sleep hours with no benefits in their performance. In a study with American college students, almost 60% of them reported engaging at least once in all-night study sessions, which hampered their test performance [29]. Orzerch et al. [30] also found better grades among students not reporting all-night study sessions. However, other studies did not find an association between long night study sessions and test scores [31, 32].

Although the positive association of sleep duration and academic performance seems to be well established, the influence of tests on sleep is not yet fully understood, and studies about the consequences of an acute sleep reduction previous to a test are scarce. In this study, we took advantage of the highly populated freshman University courses of the Universidad de la República, Uruguay, that require students to take tests in different shifts. We aimed to clarify how students modify their sleep habits the night before they take a test and to evaluate the association between sleep duration and academic performance.

Materials and methods

We ran two surveys in freshman students of the Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. We used a short computer-based questionnaire to ask about students' sleep pattern (bedtime, sleep latency, sleep end) on regular nights and the night before a mid-term test that was applied immediately after students finished the test. Questionnaire also included some items about socio-demographic information.

Statistical analyses were performed in R [33] using RStudio as an integrated development environment [34]. Throughout the text sample statistics are reported as Mean \pm Standard Deviation, while estimated differences are reported as Mean \pm Standard Error. All procedures were approved by the Ethics Committee of the School of Psychology, Universidad de la República, and complied with the principles outlined by the Declaration of Helsinki [35]. All participants gave their informed consent to participate using a digital form.

Survey #1

Undergraduate students of the first year semi-annual course of General Biology of the School of Sciences, Universidad de la República, were invited to participate in this study after finishing the mid-term test in May 2019. Ninety seven students agreed to participate (Table 1), representing the 33.5% of the students who took the test. The number of correct answers for each participant in the 20 multiple-choice questions test was provided by the course teachers. Test score represent 1/3 of the final grade.

Survey #2

Undergraduate students of the Psychology School, Universidad de la República, who took the mid-term test of Neurobiology course in June 2019 were invited to participate in this study. Neurobiology is a first year semiannual course, and almost 2200 students (74.2% females) began their grade studies in Psychology in 2019 [36]. As 1358 students took the test, they were randomly distributed in four different shifts (see schedule in Table 1). Each one of the four test versions consisted of 60 similar true/false questions. Two hundred fifty two students agreed to participate (Table 1), representing the 18.6% of the students who took the test. In survey #2, a question inquiring about the total time spent studying previous to the test was added (“How many hours do you spend studying adding up yesterday and today hours previous to the test?”). The number of correct answers of each participant was provided by the course teachers. Test score represent 1/2 of the final grade.

Results

Survey #1 sample was sex-biased towards females among participants (Table 1; $\chi^2 = 8.7$, $p = 0.003$). Mean age was 21.0 ± 5.9 . Regular reported sleep duration was 6.6 ± 1.5 h, and most participants reported regular sleep duration < 7 h (56.7%). Sleep duration and pattern were modified the night before taking the General Biology test (Table 1, Fig 1A). Sleep duration was reduced in 2.1 ± 0.2 h (paired-samples t -test = 9.4, $p < 0.001$), with 13 students (13.4%) being all-nighters. There was a moderate correlation between regular sleep duration and sleep duration before the test ($r = 0.40$, $p < 0.001$). Among sleepers, sleep onset was delayed in 1.0 ± 0.2 h (paired-samples t -test = 6.2, $p < 0.001$), and sleep end was advanced in 0.5 ± 0.1 h (paired $t = 4.1$, $p < 0.001$). The delay in sleep onset was generated by an estimated delay of 1.1 ± 0.2 h in the bedtime (paired-samples t -test = -7.5, $p < 0.001$), while sleep latency remained unchanged (paired-samples t -test = 0.0, $p = 1.0$). A logit regression was used to study the

Table 1. Characteristics of the participants of both studies.

	Total	Males	Females	Age	Regular sleep duration	Sleep duration before test	All-nighters	Correct answer rate
Survey #1: School of Science								
9:00 to 10:30	97	34 (35.1%)	63 (64.9%)	21.0 ± 5.9	6.6 ± 1.5	4.5 ± 2.4	13 (13.4%)	0.67 ± 0.20^a
Survey #2: School of Psychology								
8:00 to 9:15	71	10 (14.1%)	61 (85.9%)	23.3 ± 7.3	7.7 ± 1.6	4.1 ± 2.4	12 (16.9%)	0.60 ± 0.12^b
9:45 to 11:00	71	7 (9.9%)	64 (90.1%)	25.0 ± 7.9	7.9 ± 1.7	4.9 ± 2.5	9 (12.7%)	0.64 ± 0.15^b
11:30 to 12:45	62	9 (14.5%)	53 (85.5%)	22.7 ± 6.8	7.4 ± 1.5	5.1 ± 2.8	11 (17.7%)	0.65 ± 0.11^b
13:15 to 14:30	48	6 (12.5%)	42 (87.5%)	24.4 ± 8.8	7.7 ± 1.9	6.0 ± 2.5	5 (10.4%)	0.68 ± 0.13^b

Note: In each case, time of test attendance is indicated. Discrete variables are presented as Number (Percentage); numeric variables are presented as Mean \pm Standard Deviation.

^a Test consisted of 20 multiple choice questions.

^b Test consisted of 60 true/false questions.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247104.t001>



Fig 1. Sleep pattern among students that reported sleeping before the test from a) School of Science (survey #1); b) four test shifts in School of Psychology (survey #2).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247104.g001>

association between the correct answer rate and sleep duration. Regular sleep was associated with the ratio of correct answers, and an hour increase in sleep duration was associated with a 10.8% increase in the odds ratio of correct answers ($z = 3.3, p < 0.001$; Cragg-Uhler pseudo- $R^2 = 0.11$). Sleep duration before the test was also a significant predictor, and an hour increase in sleep duration was associated with a 15.0% increase in the odds ratio of correct answers ($z = 6.8, p < 0.001$; Cragg-Uhler pseudo- $R^2 = 0.38$). The predicted correct answer rate was 52.3% for an all-nighter and 77.1% for a student who slept 8 h.

Sleep patterns are represented from Mean sleep onset to Mean sleep end (red lines represent the Standard Deviation) for regular-days sleep (red) and for the night before the test (white). Gray and white areas indicate photoperiod calculated from sunrise and sunset on the day before the test. Start time of the test is indicated below.

Survey #2 sample was also biased towards females (87.3%; $\chi^2 = 140.3, p < 0.001$), across shifts ($\chi^2 = 0.8, p = 0.8$). Mean age was 23.8 ± 7.7 years. Mean sleep duration on regular nights was 7.7 ± 1.6 h, with no differences between shifts ($F(3,248) = 1.1, p = 0.4$; Table 1). Among participants, 31.7% reported short regular sleep duration (< 7 h), with no difference between shifts ($\chi^2 = 5.3, p = 0.15$). Regular sleep pattern was also similar between shifts (mean sleep onset was $0:29 \pm 1:23$; mean sleep end was $8:10 \pm 1:36$), as no difference was found in either sleep onset ($F(3,248) = 0.2, p = 0.9$, Fig 1B) or sleep end ($F(3,248) = 0.7, p = 0.5$, Fig 1B). The night before the test sleep duration was reduced: sleep in 8:00 shift was reduced in 3.6 ± 0.3 h (paired-samples t -test = 10.9, $p < 0.001$), in 9:45 shift sleep was reduced in 3.0 ± 0.3 h (paired-samples t -test = 9.1, $p < 0.001$), in 11:30 shift was reduced in 2.3 ± 0.4 h (paired-samples t -test = 6.6, $p < 0.001$), and in 13:15 shift reduction was in 1.7 ± 0.4 h (paired-samples t -test = 4.3, $p < 0.001$). A small correlation between regular sleep duration and sleep duration before was observed ($r = 0.09, p = 0.032$). Sleep duration before the test was different between test shifts ($F(3,248) = 4.6, p = 0.004$; Table 1), as last shift students slept more than the first shift students (Tukey post-hoc $t = -3.8, p < 0.001$). All-nighters were 14.7% of participants, with no difference between test shifts ($\chi^2 = 1.7, p = 0.64$). Moreover, sleep reduction was different between test shifts ($F(3,248) = 4.9, p = 0.002$), and Tukey post-hoc test showed significant differences between students in 8:00 vs 11:30 shift ($t = 2.6, p = 0.048$), and between students in 8:00 vs 13:15 shift ($t = 3.6, p = 0.003$). Sleep pattern was also modified the night before the test (Fig 1B). Sleep onset the night before the test was similar between test shifts ($F(3,211) = 0.9, p = 0.7$), and was delayed compared to regular nights an estimated 1.3 ± 0.1 h (paired-samples t -test = -12.6, $p < 0.001$), with no difference between shifts ($F(3,211) = 0.5, p = 0.7$). This delay in sleep onset emerged from a delay in the bedtime of 1.3 ± 0.1 h (paired-samples t -test = -11.9, $p < 0.001$), similar between shifts ($F(3,211) = 0.6, p = 0.6$), as no difference was observed in the sleep latency compared to regular days (paired-samples t -test = -0.5, $p = 0.6$). Sleep end was dependent on the test start time ($F(3,211) = 39.0, p < 0.001$; Fig 1B): Sleep end was delayed as

test start later with all Tukey post-hoc paired comparisons significant (all $p < 0.035$). Sleep end difference between regular nights and the night before the test varied with test shift ($F(3, 211) = 18.2, p < 0.001$): Sleep end was advanced 1.6 ± 0.2 h when test started at 8:00 (paired-samples t -test = 8.0, $p < 0.001$) and 1.1 ± 0.2 h when test started at 9:45 (paired-samples t -test = 5.3, $p < 0.001$), while no difference was observed in the other two shifts.

The association between the correct answer rate with the sleep duration and the test shift was studied using a logit regression model. Regular sleep duration did not predict test performance ($z = -1.45, p = 0.15$). However, an hour increase in sleep duration before the test was associated with a 3.8% increase in the odds ratio of correct answers ($z = 5.7, p < 0.001$; Cragg-Uhler pseudo- $R^2 = 0.12$). When the test shift was added it resulted in a significant predictor and model fit increased (Cragg-Uhler pseudo- $R^2 = 0.25$). Paired comparisons using Tukey adjustment showed a significant increase in the odd of correct answers in 9:45 shift (19.9%, $z = 4.1, p < 0.001$), 11:30 shift (22.3%, $z = 4.3, p = 0.001$) and 13:15 shift (36.3%, $z = 5.9, p < 0.001$) compared to 8:00 shift. The predicted correct answer rate was 56.7% for an all-nighter who attended the first shift and 69.0% for a student who slept 8 h and attended the fourth shift. Mean number of hours spent studying before the test was 8.0 ± 5.0 h, with no difference between test shifts ($F(3, 248) = 2.25, p = 0.08$). Number of hours spent studying did not correlate with sleep before the test ($r = -0.10, p = 0.3$) nor with test performance ($r = 0.03, p = 0.6$).

Discussion

In this study, we present data to evaluate the influence of tests on freshman college students' sleep behavior and the influence of sleep on their academic performance. Although these issues have been addressed in previous reports [23, 24, 31, 32], this is the first study to explore how sleep patterns of the night before the test change when the test is taken at different times (survey #2). Overall (survey #1 and #2), most students delayed their bedtime the night before the test, reducing their sleep duration, and more than 10% did not even sleep at all the night before. Even when the test started as late as 13:15, the sleep duration of the night before was shorter than in regular nights, and 10% of the students stayed awake all night. In addition, sleep duration was positively correlated with the number of correct answers in the test, and therefore with school grades. When analyzing these effects across shifts (survey #2), we found that sleep duration and academic performance improved as test start times were delayed.

High rate of short regular sleep was found in both surveys, with more than 1/2 (survey #1) and almost 1/3 of students (survey #2) who reported sleep duration < 7 h in average per night. The rate of students with short regular sleep was higher and mean sleep duration was shorter in students of School of Science (survey #1) than in students of the Psychology School (survey #2), probably because the former were younger than the latter [37]. Similar values of sleep deprivation were previously reported in Uruguayan university students [38], and this should be a matter of concern based on the multiple consequences of chronic inadequate sleep [14–17].

Taking the test had a strong influence in the night before sleep behavior of students, a pattern that has been previously described using both actigraphy data and questionnaires in young students [23, 24]. As stated by Hartwig & Dunlosky [28], sleep reduction seems to be a consequence of giving up hours of sleep to obtain more study hours prior to the test. We confirmed this general pattern in the present study as students of both surveys delayed their time to go to bed the night before the test in about 1 h, regardless of test start times.

Several previous studies reported a positive association between regular sleep duration and grades [32, 39–42], while others highlight the importance of regular sleep quality, rather than duration, on academic performance [39, 40, 43, 44]. We observed an association of regular sleep duration and test performance only in survey #1, as the odds ratio of correct answers

increased with sleep duration. Sleep duration on the night before the test did predict test performance in survey #2, and was a better predictor of performance in survey #1 compared to regular sleep. In Uruguay, grades use a non-linear scale from 0 to 12. The fair lowest passing grade is 3 and corresponds to 60% achievement, while 90% achievement corresponds to grade 10. This complexity of the Uruguayan grading system prevented us from using grades in regressions. However, in both surveys when predicted correct answer rate was converted to grades 8 h-sleepers obtained a passing grade while all-nighters did not. Scullin [45] found a similar result using actigraphy data and showing that long-sleep students outperform short-sleep students in tests scores. The difference between surveys in regression coefficients and explained deviance may be related with the different type of questions (true/false vs multiple choice) employed in both courses, as the probability of answering correctly at random is higher in true-false type questions.

School and test shifts, an obligated solution to the insufficient universities' infrastructure to deal with the progressively increasing number of students in many countries [46], can also be seen as an opportunistic tool to deepen the study of the influence of test start time on sleep and performance [47–49]. In survey #2, we found that the sleep duration of the night before the test increased as test start time was delayed. A previous study in Brazilian undergraduate students attending school in different shifts found a similar pattern [13]: sleep duration was longer in students of the afternoon-shift with respect to morning-shift ones. We also found that students' performance was significantly higher in later shifts with respect to early ones. The enhanced performance of late-shift students is more likely due to their longer sleep duration and not to the time spent studying the day before the test, which was not significantly different across shifts. In addition to longer sleep durations, chronotype-associated differences in performance may also contribute to the differences observed between shifts [50, 51]. To address this issue in the future, we plan to add the assessment of Morningness-Eveningness in students of the Psychology School taking tests in different shifts.

Our study has several limitations. Self-report questionnaires may overestimate sleep duration compared to objective measures [52], and short sleep prevalence may be even higher than reported among Uruguayan college students. Although data were collected immediately after the test to prevent memory blurring, future studies should include more objective measures to confirm our results. A previous study using actigraphy data found a similar pattern of sleep reduction during exam period [45]. Sleep disturbance and reduced performance may be both associated with the high levels of anxiety prior to a test [53]. However, we did not observe an increase in sleep latency before the test, a measure that has been related to anxiety levels [14, 54]. Nevertheless, the analysis of personality-linked variables could help to get a better understanding of the interaction between students' sleep behavior and study practice before a test.

In this study, we show that many college students reported not getting enough sleep. In addition, we found that taking a test influences students' sleep behavior, and that the sleep duration of the night before the test is associated with test performance. Given the relevance of adequate sleep, it appears as a cost-efficient way to improve student's academic performance and well-being [21, 55]. Although delaying school (and tests) start times has been related to longer sleep duration and better academic performance, it seems not enough. These evidence should inspire educational policies and promote an open communication of the impact of sleep on learning and of the consequences of reduced sleep duration.

Acknowledgments

We thank everyone who participated in this study. We thank Álvaro Cabana for his suggestions for analysis.

Author Contributions

Conceptualization: Ignacio Estevan.

Formal analysis: Ignacio Estevan.

Investigation: Ignacio Estevan, Romina Sardi, Ana Clara Tejera.

Supervision: Ana Silva, Bettina Tassinio.

Writing – original draft: Ignacio Estevan.

Writing – review & editing: Ignacio Estevan, Ana Silva, Bettina Tassinio.

References

1. Watson NF, Badr MS, Belenky G, Bliwise DL, Buxton OM, Buysse D, et al. Recommended amount of sleep for a healthy adult: A joint consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society. *J. Clin. Sleep Med.* 2015; 11:591–2. <https://doi.org/10.5664/jcsm.4758> PMID: [25979105](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25979105/)
2. Watson NF, Badr MS, Belenky G, Bliwise DL, Buxton OM, Buysse D, et al. Joint consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society on the recommended amount of sleep for a healthy adult: Methodology and discussion. *Sleep* 2015; 38:1161–83. <https://doi.org/10.5665/sleep.4886> PMID: [26194576](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26194576/)
3. Itani O, Jike M, Watanabe N, Kaneita Y. Short sleep duration and health outcomes: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Sleep Med.* 2017; 32:246–56. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.08.006> PMID: [27743803](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27743803/)
4. Gallicchio L, Kalesan B. Sleep duration and mortality: A systematic review and meta-analysis. *J. Sleep Res.* 2009; 18:148–58. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2008.00732.x> PMID: [19645960](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19645960/)
5. Centers for Disease Control and Prevention. Sleep and sleep disorders [Internet]. 2017 [cited 2020 Apr 17]; Available from: https://www.cdc.gov/sleep/data_statistics.html
6. Jahrami H, Dewald-Kaufmann J, Faris sMA-I, AlAnsari AMS, Taha M, AlAnsari N. Prevalence of sleep problems among medical students: A systematic review and meta-analysis. *J. Public Health Berl. [Internet]* 2019; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10389-019-01064-6>
7. Owens JA, Adolescent Sleep Working Group, Committee on Adolescence. Insufficient sleep in adolescents and young adults: An update on causes and consequences. *Pediatrics* 2014; 134:e921–32. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-1696> PMID: [25157012](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25157012/)
8. Crowley SJ, Wolfson AR, Tarokh L, Carskadon MA. An update on adolescent sleep: New evidence informing the perfect storm model. *J. Adolesc.* 2018; 67:55–65. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2018.06.001> PMID: [29908393](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29908393/)
9. Carskadon MA. Sleep in adolescents: the perfect storm. *Pediatr. Clin. North Am.* 2011; 58:637–47. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2011.03.003> PMID: [21600346](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21600346/)
10. Gradisar M, Gardner G, Dohnt H. Recent worldwide sleep patterns and problems during adolescence: A review and meta-analysis of age, region, and sleep. *Sleep Med.* 2011; 12:110–8. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2010.11.008> PMID: [21257344](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21257344/)
11. Tarokh L, Short M, Crowley SJ, Fontanellaz-Castiglione CEG, Carskadon MA. Sleep and circadian rhythms in adolescence. *Curr. Sleep Med. Rep.* 2019; 5:181–92.
12. Roenneberg T, Kuehnele T, Pramstaller PP, Ricken J, Havel M, Guth A, et al. A marker for the end of adolescence. *Curr. Biol.* 2004; 14:R1038–9. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.11.039> PMID: [15620633](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15620633/)
13. Machado ERS, Varella VBR, Andrade MMM. The influence of study schedules and work on the sleep–wake cycle of college students. *Biol. Rhythm Res.* 1998; 29:578–84.
14. Becker SP, Jarrett MA, Luebke AM, Garner AA, Burns GL, Kofler MJ. Sleep in a large, multi-university sample of college students: Sleep problem prevalence, sex differences, and mental health correlates. *Sleep Health* 2018; 4:174–81. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2018.01.001> PMID: [29555131](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29555131/)
15. Lemma S, Gelaye B, Berhane Y, Worku A, Williams MA. Sleep quality and its psychological correlates among university students in Ethiopia: A cross-sectional study. *BMC Psychiatry* 2012; 12:237. <https://doi.org/10.1186/1471-244X-12-237> PMID: [23270533](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23270533/)
16. Boehm MA, Lei QM, Lloyd RM, Prichard JR. Depression, anxiety, and tobacco use: Overlapping impediments to sleep in a national sample of college students. *J. Am. Coll. Health* 2016; 64:565–74. <https://doi.org/10.1080/07448481.2016.1205073> PMID: [27347758](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27347758/)

17. Norbury R, Evans S. Time to think: Subjective sleep quality, trait anxiety and university start time. *Psychiatry Res.* 2019; 271:214–9. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.11.054> PMID: 30502557
18. Gomez Fonseca A, Genzel L. Sleep and academic performance: Considering amount, quality and timing. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 2020; 33:65–71.
19. Hershner S. Sleep and academic performance: Measuring the impact of sleep. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 2020; 33:51–6.
20. Hershner S, Chervin R. Causes and consequences of sleepiness among college students. *Nat. Sci. Sleep* 2014; 6:73–84. <https://doi.org/10.2147/NSS.S62907> PMID: 25018659
21. Prichard JR. Sleep predicts collegiate academic performance: Implications for equity in student retention and success. *Sleep Med. Clin.* 2020; 15:59–69. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2019.10.003> PMID: 32005350
22. Hartmann ME, Prichard JR. Calculating the contribution of sleep problems to undergraduates' academic success. *Sleep Health* 2018; 4:463–71. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2018.07.002> PMID: 30241662
23. Zunhammer M, Eichhammer P, Busch V. Sleep quality during exam stress: The role of alcohol, caffeine and nicotine. *PLOS ONE* 2014; 9:e109490. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109490> PMID: 25279939
24. Astill RG, Verhoeven D, Vijzelaar RL, Van Someren EJW. Chronic stress undermines the compensatory sleep efficiency increase in response to sleep restriction in adolescents. *J. Sleep Res.* 2013; 22:373–9. <https://doi.org/10.1111/jsr.12032> PMID: 23398048
25. Lund HG, Reider BD, Whiting AB, Prichard JR. Sleep patterns and predictors of disturbed sleep in a large population of college students. *J. Adolesc. Health* 2010; 46:124–32. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2009.06.016> PMID: 20113918
26. Mesquita G, Reimão R. Stress and sleep quality in high school Brazilian adolescents. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 2010; 82:545–51. <https://doi.org/10.1590/s0001-37652010000200029> PMID: 20563434
27. Seun-Fadipe CT, Mosaku KS. Sleep quality and psychological distress among undergraduate students of a Nigerian university. *Sleep Health* 2017; 3:190–4. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2017.02.004> PMID: 28526257
28. Hartwig MK, Dunlosky J. Study strategies of college students: Are self-testing and scheduling related to achievement? *Psychon. Bull. Rev.* 2012; 19:126–34. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0181-y> PMID: 22083626
29. Thacher PV. University students and the “all nighter”: Correlates and patterns of students' engagement in a single night of total sleep deprivation. *Behav. Sleep. Med.* 2008; 6:16–31. <https://doi.org/10.1080/15402000701796114> PMID: 18412035
30. Orzech KM, Salafsky DB, Hamilton LA. The state of sleep among college students at a large public university. *J. Am. Coll. Health* 2011; 59:612–9. <https://doi.org/10.1080/07448481.2010.520051> PMID: 21823956
31. Engle-Friedman M. Self-imposed sleep loss, sleepiness, effort and performance. *Sleep Hypn.* 2004; 6:155–62.
32. Okano K, Kaczmarzyk JR, Dave N, Gabrieli JDE, Grossman JC. Sleep quality, duration, and consistency are associated with better academic performance in college students. *Npj Sci. Learn.* 2019; 4:1–5. <https://doi.org/10.1038/s41539-019-0040-6> PMID: 30886740
33. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2019. Available from: <https://www.R-project.org/>
34. RStudio Team. RStudio: Integrated development environment for R [Internet]. Boston, MA: RStudio, Inc.; 2016. Available from: <http://www.rstudio.com/>
35. World Medical Association. World Medical Association declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA* 2013; 310:2191–4. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053> PMID: 24141714
36. PRORREN. Informe generación de ingreso 2019. Licenciatura en Psicología, Udelar [Internet]. Montevideo: Facultad de Psicología; 2020 [cited 2019 Dec 17]. Available from: https://psico.edu.uy/sites/default/pub_files/2019-11/-Informe%20Gen%202019%20%283%29.pdf
37. Ohayon MM, Carskadon MA, Guilleminault C, Vitiello MV. Meta-analysis of quantitative sleep parameters from childhood to old age in healthy individuals: developing normative sleep values across the human lifespan. *Sleep* 2004; 27:1255–74. <https://doi.org/10.1093/sleep/27.7.1255> PMID: 15586779
38. Tassino B, Horta S, Santana N, Levandovski R, Silva A. Extreme late chronotypes and social jetlag challenged by Antarctic conditions in a population of university students from Uruguay. *Sleep Sci.* 2016; 9:20–8. <https://doi.org/10.1016/j.slsci.2016.01.002> PMID: 27226819

39. Gaultney JF. The prevalence of sleep disorders in college students: Impact on academic performance. *J. Am. Coll. Health* 2010; 59:91–7. <https://doi.org/10.1080/07448481.2010.483708> PMID: [20864434](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20864434/)
40. Gilbert SP, Weaver CC. Sleep quality and academic performance in university students: A wake-up call for college psychologists. *J. Coll. Stud. Psychother.* 2010; 24:295–306.
41. Medeiros ALD, Mendes DB, Lima PF, Araujo JF. The relationships between sleep-wake cycle and academic performance in medical students. *Biol. Rhythm Res.* 2001; 32:263–70.
42. Taylor DJ, Vatthauer KE, Bramoweth AD, Ruggero C, Roane B. The role of sleep in predicting college academic performance: Is it a unique predictor? *Behav. Sleep. Med.* 2013; 11:159–72. <https://doi.org/10.1080/15402002.2011.602776> PMID: [23402597](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23402597/)
43. Gomes AA, Tavares J, de Azevedo MHP. Sleep and academic performance in undergraduates: A multi-measure, multi-predictor approach. *Chronobiol. Int.* 2011; 28:786–801. <https://doi.org/10.3109/07420528.2011.606518> PMID: [22080785](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22080785/)
44. Piro RS, Alhakem SSM, Azzez SS, Abdulah DM. Prevalence of sleep disorders and their impact on academic performance in medical students/University of Duhok. *Sleep Biol. Rhythms* 2018; 16:125–32.
45. Scullin MK. The eight hour sleep challenge during final exams week. *Teach. Psychol.* 2019; 46:55–63.
46. Bray M. Double-shift schooling: design and operation for cost-effectiveness. 3rd ed. Paris: UNESCO; 2008.
47. Estevan I, Silva A, Tassinio B. School start times matter, eveningness does not. *Chronobiol. Int.* 2018; 35:1753–7. <https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1504785> PMID: [30067394](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30067394/)
48. Goldin AP, Sigman M, Braier G, Golombek DA, Leone MJ. Interplay of chronotype and school timing predicts school performance. *Nat. Hum. Behav.* 2020; 4:1–10. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0818-9> PMID: [31965067](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31965067/)
49. Arrona-Palacios A, Díaz-Morales JF. Morningness-eveningness is not associated with academic performance in the afternoon school shift: Preliminary findings. *Br. J. Educ. Psychol.* 2017; 88:480–98. <https://doi.org/10.1111/bjep.12196> PMID: [29094337](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29094337/)
50. Borisenkov MF, Perminova EV, Kosova AL. Chronotype, sleep length, and school achievement of 11- to 23-year-old students in northern european russia. *Chronobiol. Int.* 2010; 27:1259–70. <https://doi.org/10.3109/07420528.2010.487624> PMID: [20653453](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20653453/)
51. Eliasson AH, Lettieri CJ, Eliasson AH. Early to bed, early to rise! Sleep habits and academic performance in college students. *Sleep Breath.* 2010; 14:71–5. <https://doi.org/10.1007/s11325-009-0282-2> PMID: [19603214](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19603214/)
52. Lauderdale DS, Knutson KL, Yan LL, Liu K, Rathouz PJ. Self-reported and measured sleep duration: How similar are they? *Epidemiology* 2008; 19:838–45. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318187a7b0> PMID: [18854708](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18854708/)
53. Blankstein KR, Flett GL, Watson MS, Koledin S. Test anxiety, self-evaluative worry, and sleep disturbance in college students. *Anxiety Res.* 1990; 3:193–204.
54. Papadimitriou GN, Linkowski P. Sleep disturbance in anxiety disorders. *Int. Rev. Psychiatry* 2005; 17:229–36. <https://doi.org/10.1080/09540260500104524> PMID: [16194794](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16194794/)
55. Prichard JR, Hartmann ME. Follow-up to Hartmann & Prichard: Should universities invest in promoting healthy sleep? A question of academic and economic significance. *Sleep Health* 2019; 5:320–5. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2019.01.006> PMID: [30928496](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30928496/)

Capítulo 6.

Discusión general

En esta tesis se utilizaron abordajes observacionales y transversales, y también abordajes cuasi experimentales, en condiciones ecológicas, para evaluar el sueño de los jóvenes y adolescentes uruguayos y sus determinantes. Estos estudios ecológicos tienen el valor de complementar los estudios de laboratorio y avalar los resultados alcanzados en condiciones más controladas pero, por eso mismo, alejadas del ambiente natural de los jóvenes.

Las actividades de enseñanza concentradas en los días de semana son un organizador del tiempo para los jóvenes que determina su oportunidad de sueño y al que adaptan su sueño con mayor o menor eficacia. Los turnos de enseñanza que exponen de manera aleatoria a los jóvenes a distintas presiones sociales aparecen como un “modelo Latinoamericano” valioso desde donde realizar contribuciones relevantes al conocimiento de las características y determinantes del patrón de sueño en jóvenes, así como algunas de sus consecuencias. En esta tesis se aprovechó la organización académica en turnos de la Escuela Nacional de Danza para estudiar la influencia de los turnos de entrenamiento en el sueño de adultos jóvenes (capítulo 4). Por otro lado, los múltiples horarios de una prueba universitaria permitieron estudiar el cambio agudo en el sueño de jóvenes universitarios frente a las demandas generadas por una evaluación académica (capítulo 5). En forma complementaria y en adolescentes, la extrema variabilidad de los horarios y propuestas de enseñanza secundaria adoptados durante la pandemia resultó una oportunidad para estudiar las respuestas individuales a presiones que variaban de un día al otro (capítulo 3).

6.1. Avances metodológicos y en herramientas de análisis

El registro de acelerometría puede analizarse para obtener distintas métricas que describen el momento y duración de la vigilia y el sueño. Previamente, el Grupo de Investigación en Cronobiología había abordado este estudio a través de las llamadas medidas no-paramétricas (Gonçalves, Adamowicz, Louzada, Moreno, & Araujo, 2015), que permiten identificar el momento de mayor y menor actividad, su ubicación temporal, y la diferencia en el nivel de actividad entre ellos. Sin embargo, estos abordajes no permiten estudiar específicamente el patrón de sueño.

Una parte importante del trabajo de esta tesis consistió en explorar, utilizar y adaptar la biblioteca GGIR, desarrollada específicamente para el análisis de archivos de acelerometría obtenidos con los equipos GENEActiv (Migueles, Rowlands, Huber, Sabia, & van Hees, 2019). Esta biblioteca permitió identificar el inicio y finalización de cada período de sueño. Su empleo con adolescentes y adultos jóvenes arrojó resultados muy buenos, como sugiere la alta correlación entre los datos de acelerometría presentados en esta tesis y los diarios de sueño previamente reportados (Coirolo, Silva, & Tassino, 2020). Además, se exploraron distintas métricas para el estudio de la variabilidad en el sueño (Fischer, Klerman, & Phillips, 2021), optándose por reportar los valores del índice de regularidad en el sueño (Phillips et al., 2017) que se ha asociado con el desempeño académico y otros procesos. La nueva versión de GGIR (2.6-0) incluye el cálculo de este índice de manera global o por día.

Tampoco existían antecedentes para Uruguay en el uso del registro de aceleración para obtener medidas de los niveles de actividad física. En esta tesis se exploraron algunas de las funciones de la biblioteca GGIR para el análisis de la actividad física (Sabia et al., 2014; van Hees et al., 2013). Uno de los índices valiosos que generan estas funciones es el tiempo que cada participante pasa en distintos niveles de actividad en cada día. Aunque se pueden definir los umbrales para clasificar los niveles de actividad física, en esta tesis se utilizaron los valores que resultaron de una validación previa de los equipos y los algoritmos (Hildebrand, Van Hees, Hansen, & Ekelund, 2014). Además, estas funciones fueron adaptadas para poder obtener los valores de distintas ventanas temporales a lo largo del día. La nueva versión de GGIR (2.6-0) ya incluye esta funcionalidad.

En base a los antecedentes revisados, no parece haber una medida estándar para estudiar y comparar la exposición a luz registrada con acelerómetros. En esta tesis se exploraron distintas medidas (intensidad media, minutos de exposición por encima de un umbral, hora de la primer exposición por encima de un umbral), y se comprobó que todas estaban muy correlacionadas. Como la exposición a luz natural es decenas o centenas de veces más intensa que la luz artificial, era esperable que los minutos de exposición y su intensidad media estuvieran muy asociados. Sin embargo, la hora de la primera exposición no tenía por qué estar asociada a las otras medidas de luz, como sí se observó. Será interesante comparar en el futuro estas medidas en una muestra mayor que además tenga grandes diferencias en sus presiones sociales, como puede ser la asistencia distintos turnos liceales.

6.2. Una mirada integradora

Las hipótesis de trabajo planteadas en esta tesis se presentaron en los capítulos correspondientes (capítulos 3 al 5), en los que además se discutieron sus alcances y la manera en que los resultados presentados las refrendan total o parcialmente. Sin embargo, los aportes de los resultados de cada capítulo trascienden a las hipótesis particulares planteadas en cada uno y merecen una mirada integradora en al menos los cinco ejes temáticos que se presentan a continuación.

6.2.1. Sobre los turnos de enseñanza

La organización en turnos típica de las instituciones de América Latina constituye un cuasi-experimento natural que permite estudiar cómo los horarios de las actividades de enseñanza influyen en el patrón de sueño. Los capítulos 4 y 5 permitieron aportar nuevos resultados respecto a esta asociación. El estudio con adultos jóvenes bailarines permitió caracterizar cómo los turnos limitan la oportunidad de sueño, principalmente cuando comienzan temprano en la mañana, forzando al uso de alarmas para despertar. También los turnos de una prueba mostraron como ésta influye en el despertar y por tanto en la duración de sueño. Pero además, los turnos también moldearon el patrón diario de exposición a luz y de actividad física en las ventanas que coincidían con los turnos, de modo que estos valores eran más altos durante el turno que asistían a clase y entrenamiento, variables que también se asocian con el sueño. No se encontraron diferencias en los valores diarios de exposición a luz y actividad física, lo que refuerza el valor de los turnos como un cuasi-experimento.

6.2.2. Sobre el sueño y las actividades de enseñanza

Las actividades de enseñanza constituyen un factor de gran influencia en el sueño de los jóvenes (Gradisar, Gardner, & Dohnt, 2011). Los resultados obtenidos en los capítulos 3, 4 y 5 de esta tesis permitieron profundizar en el conocimiento de la importancia que tienen las actividades educativas moldeando la capacidad y oportunidad de sueño de los jóvenes. En un período habitual de clases, el sueño tanto de los adolescentes como de los adultos jóvenes comenzó más temprano en días de semana. En el caso de los adolescentes, este adelanto no fue suficiente para compensar el adelanto en el despertar determinado por el uso de alarmas, por lo que la duración de sueño se acortaba por debajo de los valores recomendados. Es así que en días con clase los adolescentes dormían poco, pero, contrario a lo esperado, los adultos jóvenes sí dormían por encima de las horas mínimas recomendadas. El estudio día a día del patrón de sueño con modalidad y horarios variables durante la pandemia además mostró que los adolescentes no adaptaban su sueño a esta extrema variabilidad, y solo respondían fijando el despertar –y

por tanto la duración- a través del uso de alarmas, sin tener en cuenta la duración recomendada para su edad ni su necesidad de sueño (estimada como la duración en vacaciones) para el comienzo de su sueño. Respecto a las recomendaciones de horario de inicio para otros países (Dunster, Crowley, Carskadon, & de la Iglesia, 2019), los adolescentes uruguayos demandarían horarios más retrasados, lo que podría relacionarse tanto con sus características circadianas y algunos de sus hábitos familiares y sociales (Estevan, 2020; Estevan, Silva, Vetter, & Tassinio, 2020), como con los tiempos de traslado hasta las instituciones. Las actividades de enseñanza remotas, al evitar estos traslados y otras actividades asociadas con la asistencia, se asociaron con mayores duraciones de sueño.

Respecto al sueño en los días libres, como se esperaba, tanto los adolescentes como los adultos jóvenes del turno matutino presentaron mayores duraciones de sueño comparadas con días con clase, incluso cuando los adultos jóvenes no tenían que compensar déficit de sueño. Sin embargo, en los adolescentes la duración en días libres fue similar a la de un día de vacaciones, no mostrando el rebote o compensación esperado, al menos en lo que respecta a esta característica. En los adultos jóvenes, el sueño en fines de semana incluso resultó más breve que en días de entrenamiento al controlar por distintas variables. Aunque no se abordaron las posibles razones, por lo inesperado de este resultado, sí se identificó que en los fines de semana bajó el uso de alarmas aunque seguía siendo frecuente, lo que sugiere que al menos en el contexto de Uruguay, los fines de semana no son días tan libres.

Además, se debe repensar el uso de los fines de semana como un día libre que permite la expresión de las preferencias individuales (una situación similar al *free running* de los estudios cronobiológicos) y que fundamenta su uso como indicador de la fase circadiana (Roenneberg, 2015; Roenneberg, Pilz, Zerbini, & Winnebeck, 2019). En este sentido, algunos trabajos muestran una asociación de los cronotipos con factores sociales como el turno de asistencia (Estevan et al., 2020; Goldin, Sigman, Braier, Golombek, & Leone, 2020), pero también el horario de la cena (Estevan et al., 2020). Los distintos factores sociales que influyen en la capacidad y oportunidad de sueño terminan afectando también a este indicador, volviendo más relevante la caracterización de esta medida de cronotipos como un estado y no un rasgo (Roenneberg et al., 2019).

El estudio de los cambios en el sueño previo una prueba en adultos jóvenes mostró que hay un importante porcentaje de estudiantes que permanecen sin dormir la noche previa, aunque la mayoría solo retrasó el inicio del sueño. Además del efecto de la ansiedad, la disminución de las horas de sueño seguramente esté relacionada con ganar horas de estudio antes de la prueba.

6.2.3. Sobre el sueño y el ambiente físico

La luz es un importante *zeitgeber* para el sistema circadiano y de allí su influencia sobre el patrón de sueño. En esta tesis se pudo comprobar esta influencia mostrando que distintas medidas, en particular la intensidad media de luz, que se relaciona estrechamente con el tiempo de exposición a luz natural, aumenta las horas de sueño al adelantar su inicio. En jóvenes adolescentes, la media diaria de exposición a luz se asoció con adelantos en el inicio del sueño e incrementos en su duración. En los adultos jóvenes se pudieron estudiar dos ventanas temporales correspondientes a los distintos turnos de entrenamiento en danza. Controlando para distintas variables también relevantes, se pudo identificar el efecto contrapuesto de la luz según su temporalidad, lo que se explica a través de las curvas de respuesta de fase (Khalsa, Jewett, Cajochen, & Czeisler, 2003; Kripke, Elliott, Youngstedt, & Rex, 2007): la luz en la mañana adelantó el sueño e incrementó su duración, mientras que la luz nocturna lo retrasó aunque sin efectos en la duración.

Además, en el trabajo con adolescentes, se pudo comprobar la bidireccionalidad de la relación entre el sueño y la luz. No solo el patrón de sueño era influido por la exposición a luz previa, sino que el patrón de exposición a luz, particularmente en la mañana, era influido por el patrón de sueño, particularmente por el despertar. Las actividades de enseñanza, con gran impacto en el sueño, también influyen en el patrón de exposición a luz ya sea por este impacto o porque pautan la exposición a luz durante los traslados o la estancia en las instituciones. Así, se observaron diferencias en la exposición a luz según el tipo de día (liceal, libre, vacaciones), seguramente relacionadas al tipo de actividades desplegadas, que merecen un estudio más detallado. Este podría ser un posible mecanismo de la influencia de los horarios liceales y los turnos sobre el sistema circadiano y los cronotipos, que influirían entonces sobre la capacidad de sueño además de restringir la oportunidad de sueño. Será importante confirmar a través de medidas de fase del sistema circadiano el mecanismo de influencia de la luz, así como esta posible relación entre los turnos, los cronotipos y el sueño.

6.2.4. Sobre el sueño y el comportamiento

La actividad física en general se asocia con beneficios en el sueño. En la población de adultos jóvenes de estudiantes de danza no se observó esta asociación, quizás debido a que la mayoría mostró un sueño de duración adecuada para la edad y que, aunque con diferencias diarias, todos estaban expuestos a un entrenamiento intenso y similar en cuyo rango de variación podría no haber diferencias en la influencia sobre el sueño. No se observó la influencia esperada de la actividad física matinal en el sueño, pero sí de la nocturna, que retrasó tanto el inicio como el final, por lo que no se afectó su duración. Esta influencia se suma al efecto de los turnos y el tipo

de día, que también se incluyeron en el modelo, quienes mantienen una influencia de mayor magnitud que la actividad física. Aunque se han propuesto mecanismos circadianos (Youngstedt, Elliott, & Kripke, 2019) y homeostáticos (Espie, 2002) para explicar esta influencia de la actividad física en el sueño, la falta de asociación entre la actividad física matinal y el sueño es compatible con una acción mediada por el aumento de la activación fisiológica generada por el ejercicio nocturno que dificulta el inicio del sueño. Para confirmar esto, sería importante estudiar la influencia de la actividad física utilizando la hora circadiana individual determinada a partir del registro de melatonina y confirmar que la actividad en la mañana circadiana no influye en el patrón de sueño.

6.2.5. Sobre el sueño y el rendimiento académico

El sueño es relevante tanto para el establecimiento y la consolidación de las memorias generadas en las vigilias previas (Diekelmann & Born, 2010; Klinzing, Niethard, & Born, 2019), como para el buen funcionamiento cognitivo durante la vigilia siguiente (de Bruin, van Run, Staaks, & Meijer, 2017; Lowe, Safati, & Hall, 2017; Short et al., 2018). El estudio de dos poblaciones de adultos jóvenes universitarios mostró que el sueño es muy sensible a la presencia de una prueba, donde el sacrificio de horas de sueño antes de una prueba aparece como una estrategia generalizada. Esto permitió estudiar la asociación entre la duración de sueño previa a la prueba y el desempeño en la misma, observándose una asociación positiva que varió en magnitud según el tipo de cuestionario empleado en cada curso. Además, la presencia de turnos dada la masividad de las generaciones en Facultad de Psicología permitió identificar una mejora en el desempeño a medida que avanzaba la mañana, un efecto circadiano, no esperado, pero compatible con la hipótesis de la sincronía entre cronotipos y desempeño (May & Hasher, 1998), en línea con hallazgos previos en adolescentes (Estevan, Silva, & Tassinio, 2018), y que merece más estudios dada la vespertinidad observada en jóvenes uruguayos. Aunque no han recibido tanta importancia como otros factores, los problemas relacionados con el sueño tienen similar impacto al consumo de alcohol y drogas en el rendimiento académico (Zunhammer, Eichhammer, & Busch, 2014) y su abordaje constituye una manera económica de mejorar tanto el desempeño como el bienestar de los jóvenes.

Listado de referencias

- Coirolo, N., Silva, A., & Tassino, B. (2020). The impact of training shifts in dancers' chronotype and sleep patterns. *Sleep Science, 13*, 31-35.
- de Bruin, E. J., van Run, C., Staaks, J., & Meijer, A. M. (2017). Effects of sleep manipulation on cognitive functioning of adolescents: A systematic review. *Sleep Medicine Reviews, 32*, 45-57.
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews. Neuroscience, 11*, 114-126.
- Dunster, G. P., Crowley, S. J., Carskadon, M. A., & de la Iglesia, H. O. (2019). What Time Should Middle and High School Students Start School? *Journal of Biological Rhythms, 34*, 576-578.
- Espie, C. A. (2002). Insomnia: Conceptual Issues in the Development, Persistence, and Treatment of Sleep Disorder in Adults. *Annual Review of Psychology, 53*, 215-243.
- Estevan, I. (2020). Psychometric properties of the Morningness/Eveningness Scale for Children among Uruguayan adolescents: The role of school start times. *Biological Rhythm Research*. <https://doi.org/10.1080/09291016.2020.1846284>
- Estevan, I., Silva, A., & Tassino, B. (2018). School start times matter, eveningness does not. *Chronobiology International, 35*, 1753-1757.
- Estevan, I., Silva, A., Vetter, C., & Tassino, B. (2020). Short sleep duration and extremely delayed chronotypes in Uruguayan youth: The role of school start times and social constraints. *Journal of Biological Rhythms, 35*, 391-404.
- Fischer, D., Klerman, E. B., & Phillips, A. J. K. (2021). Measuring sleep regularity: Theoretical properties and practical usage of existing metrics. *Sleep*. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsab103>
- Goldin, A. P., Sigman, M., Braier, G., Golombek, D. A., & Leone, M. J. (2020). Interplay of chronotype and school timing predicts school performance. *Nature Human Behaviour, 4*, 1-10.
- Gonçalves, B., Adamowicz, T., Louzada, F. M., Moreno, C. R., & Araujo, J. F. (2015). A fresh look at the use of nonparametric analysis in actimetry. *Sleep Medicine Reviews, 20*, 84-91.
- Gradisar, M., Gardner, G., & Dohnt, H. (2011). Recent worldwide sleep patterns and problems during adolescence: A review and meta-analysis of age, region, and sleep. *Sleep Medicine, 12*, 110-118.
- Hildebrand, M., Van Hees, V. T., Hansen, B. H., & Ekelund, U. (2014). Age group comparability of raw accelerometer output from wrist- and hip-worn monitors. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 46*, 1816-1824.
- Khalsa, S. B. S., Jewett, M. E., Cajochen, C., & Czeisler, C. A. (2003). A Phase Response Curve to Single Bright Light Pulses in Human Subjects. *The Journal of Physiology, 549*, 945-952.
- Klinzing, J. G., Niethard, N., & Born, J. (2019). Mechanisms of systems memory consolidation during sleep. *Nature Neuroscience, 22*, 1598-1610.
- Kripke, D., Elliott, J. A., Youngstedt, S. D., & Rex, K. (2007). Circadian phase response curves to light in older and young women and men. *Journal of Circadian Rhythms, 5*, Art. 4.
- Lowe, C. J., Safati, A., & Hall, P. A. (2017). The neurocognitive consequences of sleep restriction: A meta-analytic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 80*, 586-604.
- May, C. P., & Hasher, L. (1998). Synchrony effects in inhibitory control over thought and action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24*, 363-379.
- Migueles, J. H., Rowlands, A. V., Huber, F., Sabia, S., & van Hees, V. T. (2019). GGIR: A research community-driven open source R package for generating physical activity and sleep outcomes from multi-day raw accelerometer data. *Journal for the Measurement of Physical Behaviour, 2*, 188-196.

- Phillips, A. J. K., Clerx, W. M., O'Brien, C. S., Sano, A., Barger, L. K., Picard, R. W., ... Czeisler, C. A. (2017). Irregular sleep/wake patterns are associated with poorer academic performance and delayed circadian and sleep/wake timing. *Scientific Reports*, *7*, 3216.
- Roenneberg, T. (2015). Having trouble typing? What on earth is chronotype? *Journal of Biological Rhythms*, *30*, 487-491.
- Roenneberg, T., Pilz, L. K., Zerbini, G., & Winnebeck, E. C. (2019). Chronotype and Social Jetlag: A (Self-) Critical Review. *Biology*, *8*, 54.
- Sabia, S., van Hees, V. T., Shipley, M. J., Trenell, M. I., Hagger-Johnson, G., Elbaz, A., ... Singh-Manoux, A. (2014). Association Between Questionnaire- and Accelerometer-Assessed Physical Activity: The Role of Sociodemographic Factors. *American Journal of Epidemiology*, *179*, 781-790.
- Short, M. A., Blunden, S., Rigney, G., Matricciani, L., Coussens, S., M. Reynolds, C., & Galland, B. (2018). Cognition and objectively measured sleep duration in children: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Health*, *4*, 292-300.
- van Hees, V. T., Gorzelniak, L., León, E. C. D., Eder, M., Pias, M., Taherian, S., ... Brage, S. (2013). Separating Movement and Gravity Components in an Acceleration Signal and Implications for the Assessment of Human Daily Physical Activity. *PLOS ONE*, *8*, e61691.
- Youngstedt, S. D., Elliott, J. A., & Kripke, D. F. (2019). Human circadian phase-response curves for exercise. *The Journal of Physiology*, *597*, 2253-2268.
- Zunhammer, M., Eichhammer, P., & Busch, V. (2014). Sleep quality during exam stress: The role of alcohol, caffeine and nicotine. *PLOS ONE*, *9*, e109490.

Capítulo 7.

Contribuciones y perspectivas

7.1. Contribuciones directas

7.1.1. Publicaciones

- **Estevan, I.**, Sardi, R., Tejera, A. C., Silva, A., & Tassino, B. (2021). Should I study or should I go (to sleep)? The influence of test schedule on the sleep behavior of undergraduates and its association with performance. *PLOS ONE*, *16*(3), e0247104. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247104>
- **Estevan, I.**, Tassino, B., Vetter, C., & Silva, A. (2021). Bidirectional association between light exposure and sleep in adolescents. *Journal of Sleep Research*. <https://doi.org/10.1111/jsr.13501>
- **Estevan, I.**, Tassino, B., Vetter, C., & Silva, A. (2022). Challenged by extremely irregular school schedules, Uruguayan adolescents only set their waking time. *Journal of Adolescence*.
- Silva, A., **Estevan, I.**, & Tassino, B. (Accepted). Reloj biológico, sueño y desempeño. En J. C. Valle Lisboa & V. Nin (Eds.), *Aportes de las Ciencias Cognitivas a la Educación*.
- **Estevan, I.**, Coirolo, N., Tassino, B., & Silva, A. (In prep.). The influence of light and physical activity on the timing and duration of sleep: Insights from natural model of dance training in shifts. *Sleep Medicine*.
- **Estevan, I.** (In prep.). El sueño en los jóvenes uruguayos. *Educación en Ciencias Biológicas*.

7.1.2. Resúmenes y presentaciones en Congresos

- **Estevan, I.**, Coirolo, N., Tassino, B., Silva, A. (2022). The influence of light exposure and physical activity in the timing and duration of sleep: Insights from a two-shift natural model of dance students. Society for Research on Biological Rhythms. Florida, USA.
- **Estevan, I.**, Sardi, R., Tejera, A.C., Tassino, B., Silva, A. (2020). Should we sleep or study? Society for Research on Biological Rhythms. Virtual conference, USA.
- **Estevan, I.**, Tassino, B., Vetter, C, Silva, A. (2020). Bidirectional association between light exposure and sleep in adolescents. XVI Latin American Symposium of Chronobiology. Buenos Aires, Argentina.

- Sardi, R., Tejera, A.C., Tassinio, B., Silva, A., **Estevan, I.** (2019). ¿El horario de la evaluación incide sobre el desempeño académico? Un estudio referente al sueño. 2a Conferencia Regional de Psicología del Tiempo. Montevideo, Uruguay.
- **Estevan, I.**, Tassinio, B., Silva, A. (2019). Social clock influence on Uruguayan adolescent's sleep and performance. Neuroscience. Chicago, USA.
- **Estevan, I.**, Tassinio, B., Silva, A. (2019). The impact of school shifts on circadian preferences, sleep quality, and academic performance. XV Latin American Symposium of Chronobiology. Colonia del Sacramento, Uruguay.
- Sardi, R., Tejera, A.C., Tassinio, B., Silva, A., **Estevan, I.** (2019). Sleep deprivation and academic performance in undergraduate students. XV Latin American Symposium of Chronobiology. Colonia del Sacramento, Uruguay.

7.2. Contribuciones indirectas

7.2.1. Publicaciones

- **Estevan, I.** (2020). Psychometric properties of the Morningness/Eveningness Scale for Children among Uruguayan adolescents: The role of school start times. *Biological Rhythm Research*. <https://doi.org/10.1080/09291016.2020.1846284>

7.2.2. Resúmenes y presentaciones en Congresos

- Cosentino, J.M., **Estevan, I.**, Tassinio, B. (2021). Eveningness in shift-workers: Longer overall sleep duration and higher subjective fatigue. 33rd International Congress on Occupational Health..
- Cosentino, J.M., **Estevan, I.**, Tassinio, B. (2021). Cronobiología y Salud Laboral: ¿Una sociedad prometedora? XXVIII Jornada de Jóvenes Investigadores de la Agrupación de Universidades Grupo Montevideo. Santiago de Chile, Chile.
- Curbelo, D., Olivera, A., **Estevan, I.**, Rossel C., Silva, A., Tassinio, B. (2021). Sleep patterns in childhood in Uruguay: Preliminary results. XVI Latin American Symposium of Chronobiology. Buenos Aires, Argentina.

7.3. Pasantías y becas

- Pasantía en el Laboratório de Cronobiologia Humana, dirigido por el Dr. Fernando Luzada. Beca del PEDECIBA.

- Pasantía en el Laboratorio de Psicofisiología, Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Nuevo León, dirigido por el Dr. Pablo Valdez. Beca de Excelencia del Gobierno de México para Extranjeros.
- Estancia en el Department of Integrative Physiology, University of Colorado, Boulder, CO, donde la Dra. Celine Vetter, co-tutora de mi Doctorado, se desempeña como Assistant Professor. Beca CSIC.
- Beca CAP de posgrado “Predictores de fase del sistema circadiano y su relación con las preferencias circadianas, el sueño y el desempeño cognitivo”.
- Latin American School on Chronobiology and Sleep, Universidad de la República, Montevideo-Colonia, Uruguay. Beca total.

7.4. Formación de investigadores y contribución a la formación de grupos de investigación.

- Odriozola, T (2021-hoy). Mindfulness y sueño. Tutor de Trabajo Final de Grado de la Licenciatura en Psicología.
- Curbelo, D. (2021-hoy). Primer reporte actimétrico para la caracterización cronobiológica de niños y niñas en Uruguay. Co-orientación del Trabajo de tesis para la Maestría en Ciencias Cognitivas.
- López, P. (2021). Efectos crónicos del trabajo nocturno en la memoria. Tutor de Trabajo Final de Grado de la Licenciatura en Psicología.
- Laureiro, A. (2021). Intervenciones con aplicación de terapia de luz en trabajadores nocturnos. Tutor de Trabajo Final de Grado de la Licenciatura en Psicología.
- Cosentino, J.M. (2020-2021). Sueño, cronotipos y trabajo en turnos rotativos. Co-orientación del trabajo de Pasantía para la Licenciatura en Biología Humana.
- Tejera, A.L., Sardi. R. (2019). Participación en el proyecto de investigación bajo la modalidad Integración a Programas.

7.5. Perspectivas

El estudio del sueño en adolescentes liceales arrojó resultados interesantes sobre cómo las presiones sociales moldean su patrón de sueño. Esto fue posible por la extrema variabilidad en el funcionamiento de las instituciones de enseñanza durante la pandemia, y esto mismo obliga a tener cautela al generalizar los valores hallados por las características particulares de ese momento. Será importante confirmar estos hallazgos cuando la situación de la pandemia de COVID-

19 haya sido superada o al menos controlada. También será interesante explorar el comportamiento de sueño durante un período de vacaciones y de clases más prolongados y regulares, así como las transiciones. Estudiar las diferencias según los cronotipos puede generar información relevante que explique las diferencias en la asistencia y el rendimiento asociadas a la vespertinidad (Tonetti, Natale, & Randler, 2015).

El registro de luz resultó una medida interesante que se asocia con el comportamiento de sueño. Sin embargo, este registro es generado por un sensor ubicado en la muñeca de los participantes cuando lo adecuado sería estudiar la luz que alcanza las retinas. Sumado a la baja performance en el registro de los equipos GENEActiv por debajo de los 100 lux (Stone, McGlashan, Facer-Childs, Cain, & Phillips, 2020), seguramente en estos trabajos se subestimó la exposición a luz, particularmente en la noche y a la luz proyectada por los distintos dispositivos electrónicos. Será interesante complementar los registros de luz con los equipos GENEActiv con el uso de otras medidas, incluso de autorreporte, para mejor conocer la exposición a distintas fuentes de luz. Por último, además de la intensidad y la temporalidad, otras características de la luz, como la composición espectral, son determinantes para generar respuestas circadianas, neuroendocrinas o comportamentales (Vetter et al., 2021) y podrían ser exploradas.

La enseñanza en turnos, una respuesta de los sistemas educativos en América Latina en respuesta a la falta de infraestructura, aparece como un modelo interesante para el estudio de las distintas presiones que dan forma al patrón de sueño y sus determinantes y desde donde se podrá seguir haciendo aportes relevantes al avance de la cronobiología. Será relevante complementar los resultados aquí presentados utilizando medidas novedosas de la exposición a luz y la actividad física en turnos para intentar resolver los mecanismos de su influencia en el sueño. En particular, será relevante utilizar este abordaje para conocer si los turnos son capaces de influir también en el sistema circadiano a partir de estudiar el *onset* de melatonina en saliva, que constituye un marcador de la fase de este sistema muy empleado y con el que el Grupo de Investigación en Cronobiología tiene experiencia de trabajo previo (Coirolo, 2021; Silva et al., 2019; Tassinio, Horta, Santana, Levandovski, & Silva, 2016). Además, será interesante explorar también las diferencias en el patrón de sueño y en posibles diferencias en sus predictores según los cronotipos, que se saben muy retrasados en esta población, pero que además están influidos por los turnos de asistencia (Coirolo, Silva, & Tassinio, 2020; Estevan, 2020; Tassinio et al., 2016).

Un problema que emerge de los resultados de esta tesis así como de los trabajos previos que estudiaron el sueño en adolescentes (Estevan, Silva, Vetter, & Tassinio, 2020) refiere al sueño en los fines de semana. Distintos autores sostienen que en los fines de semana el sueño está menos restringido, por lo que puede utilizarse para caracterizar los cronotipos (Roenneberg, 2012;

Roenneberg, Pilz, Zerbini, & Winnebeck, 2019), y además ocurre la recuperación de la deuda de sueño (Roenneberg et al., 2007). Esta propuesta ha sido validada a partir de estudios con marcadores de la fase del sistema circadiano, como la melatonina (Kantermann & Eastman, 2018; McHill et al., 2021). Sin embargo, los trabajos con jóvenes uruguayos sugieren que en los fines de semana la oportunidad de sueño también está restringida tanto por los padres (Estevan et al., 2020), como por el uso de alarmas como se halló en esta tesis. Será importante indagar acerca de las presiones que tiene el sueño en estos mal llamados días libres. Además, el sueño en vacaciones y en días libres en los jóvenes liceales fue distinto, por lo que estudiar un período de vacaciones más prolongado (como las vacaciones de verano), para conocer mejor la fiabilidad de esta medida. En este sentido, se ha identificado que el cronotipo medido tanto como la ubicación del sueño y el *onset* de melatonina varían entre estaciones e incluso entre días de semana y días libres (Zerbini, Winnebeck, & Mellow, 2021).

La falta de rebote de sueño observada en los fines de semana, al menos considerando su duración, podría también explicarse por cambios en la calidad y eficiencia del sueño. Además, no está claro cuál es la cantidad de sueño mínima necesaria (Matricciani, Blunden, Rigney, Williams, & Olds, 2013) y las recomendaciones han cambiado con el tiempo (Matricciani, Olds, Blunden, Rigney, & Williams, 2012), aunque hay esfuerzos interesantes por estimar este valor así como su variabilidad interpersonal en abordajes experimentales de las consecuencias de la restricción de sueño (Van Dongen, Rogers, & Dinges, 2003). Una limitación del trabajo fue considerar a las siestas, pues los jóvenes también podrían complementar el sueño nocturno con eventos de sueño diurnos. Será interesante en futuros estudios importante incorporar en la medida del sueño diario todos los eventos de sueño. Para esto será importante adaptar las bibliotecas de GGIR para obtener esta información a partir del registro de acelerometría, además de indagar sobre este comportamiento en los diarios de sueño. En el mismo sentido, sería interesante tener indicadores de la somnolencia y de la calidad del sueño de los participantes, incluso de manera diaria, para conocer si efectivamente las duraciones de sueño son inadecuadas y si además hay variaciones en estas medidas según las variaciones en la duración de sueño.

Actualmente integro el equipo de investigación del Proyecto “Caracterización de hábitos de sueño y cronotipos en la primera infancia: aportes para su medición y para el diseño de las políticas públicas” financiado por el Fondo Sectorial de Primera Infancia-ANII 2020, que busca extender los estudios que se han realizado en jóvenes a niños y niñas. En ese marco, soy co-tutor de la maestría de Dimara Curbelo, en la que busca caracterizar el sueño y los cronotipos de niños y niñas entre 7 y 9 años utilizando tanto cuestionarios como medidas objetivas. Una parte del trabajo será adaptar los métodos empleados en esta tesis al análisis de los datos obtenidos de niños y niñas. Además, como parte del proyecto, contamos con la base de datos de más de 2000

niños y niñas que en 2019 fueron indagados acerca de sus hábitos de sueño cuando tenían entre 6 y 10 años, y que vienen siendo estudiados longitudinalmente desde sus primeros años de edad. Con esta base de datos será interesante identificar si la vespertinidad que caracteriza a los jóvenes uruguayos ya está presente en edades tan tempranas, y también permitirá indagar acerca de distintos factores ambientales y sociales que puedan estar asociados a la misma. Además, será posible describir el patrón de sueño de estos niños y niñas y conocer factores que estén asociados a bajas duraciones de sueño en estas edades. Este trabajo se verá enriquecido de los intercambios con el Laboratório de Cronobiologia Humana, dirigido por el Dr. Fernando Luzada, quienes están realizando un estudio similar en niños y niñas en Brasil, cuyo resumen está presentado en el ANEXO 1.

Los impactos del sueño en el desempeño es un área relevante de estudio y será necesario continuar con esta línea de trabajo. En particular, el déficit crónico de sueño en adolescentes es esperable que impacte en su funcionamiento cognitivo y en su desempeño académico. Además, es esperable que su estado de ánimo e incluso su asistencia, se vea afectados por la falta de sueño. En particular el déficit y el impacto deberían ser mayores entre los estudiantes del turno matutino, donde la prevalencia de bajas duraciones de sueño es más alta (Estevan et al., 2020). Por otro lado, además de la mejora encontrada en esta tesis en el desempeño en un parcial en universitarios a medida que avanzaba la mañana, trabajos previos en Uruguay y otros países latinoamericanos ya habían encontrado un efecto sincronía entre los cronotipos y el desempeño en adolescentes liceales (Arrona-Palacios & Díaz-Morales, 2017; Estevan et al., 2020; Goldin, Sigman, Braier, Golombek, & Leone, 2020). Respecto a ambas asociaciones con el rendimiento (tanto del sueño como de los cronotipos) será interesante profundizar en los posibles mecanismos implicados, que pueden involucrar tanto funciones cognitivas como la atención o la memoria, como el propio comportamiento, y también la asistencia.

Recientemente he tenido la oportunidad de orientar tres trabajos de grado que exploran el sueño en trabajadores en turnos, tanto investigaciones empíricas como teóricas. El trabajo nocturno, en turnos, y rotativo, representan un gran desafío al sueño de quienes se ven expuestos a estos distintos regímenes (Kecklund & Axelsson, 2016), y ambos se asocian con importantes consecuencias en la salud (James, Honn, Gaddameedhi, & Van Dongen, 2017; Moreno et al., 2019). Los trabajadores en turnos pueden considerarse un modelo similar al de estudiantes en turnos que venimos estudiando desde 2015, por lo que los métodos y análisis desarrollados en esta tesis pueden ser fácilmente adaptados y podría generar una nueva línea de investigación muy relevante.

Por último, será importante conocer acerca de la valoración que existe en los jóvenes uruguayos y en la sociedad en general acerca del sueño. Una valoración positiva acerca del sueño y un conocimiento de los factores que lo afectan es un pre-requisito que se adopten los cambios necesarios para adaptar las instituciones a la capacidad de sueño de las personas, sean tanto jóvenes estudiantes o trabajadores en turnos. En este sentido, existe un importante trabajo acumulado de educación para mejorar la higiene y la salud de sueño del cual partir para diseñar y realizar intervenciones en la población uruguaya (Albakri, Drotos, & Meertens, 2021; Gruber, 2016), aunque no se hallaron experiencias en Uruguay en este sentido. Como se señala para el caso de España, la comunidad cronobiológica puede hacer importantes aportes a numerosos problemas sociales (Cambras & Díez-Noguera, 2019).

Listado de referencias

- Albakri, U., Drotos, E., & Meertens, R. (2021). Sleep Health Promotion Interventions and Their Effectiveness: An Umbrella Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*, 5533.
- Arrona-Palacios, A., & Díaz-Morales, J. F. (2017). Morningness-eveningness is not associated with academic performance in the afternoon school shift: Preliminary findings. *British Journal of Educational Psychology*, *88*, 480-498.
- Cambras, T., & Díez-Noguera, A. (2019). The social role of Chronobiology. *Biological Rhythm Research*, *50*, 18-27.
- Coirolo, N. (2021). *Los ritmos biológicos de los bailarines: El impacto de los turnos de entrenamiento sobre el cronotipo, fase circadiana y hábitos de sueño*. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Coirolo, N., Silva, A., & Tassino, B. (2020). The impact of training shifts in dancers' chronotype and sleep patterns. *Sleep Science*, *13*, 31-35.
- Estevan, I. (2020). Psychometric properties of the Morningness/Eveningness Scale for Children among Uruguayan adolescents: The role of school start times. *Biological Rhythm Research*. <https://doi.org/10.1080/09291016.2020.1846284>
- Estevan, I., Silva, A., Vetter, C., & Tassino, B. (2020). Short sleep duration and extremely delayed chronotypes in Uruguayan youth: The role of school start times and social constraints. *Journal of Biological Rhythms*, *35*, 391-404.
- Goldin, A. P., Sigman, M., Braier, G., Golombek, D. A., & Leone, M. J. (2020). Interplay of chronotype and school timing predicts school performance. *Nature Human Behaviour*, *4*, 1-10.
- Gruber, R. (2016). School-based sleep education programs: A knowledge-to-action perspective regarding barriers, proposed solutions, and future directions. *Sleep Medicine Reviews*. <https://doi.org/10.1016/J.SMRV.2016.10.001>
- James, S. M., Honn, K. A., Gaddameedhi, S., & Van Dongen, H. P. A. (2017). Shift Work: Disrupted Circadian Rhythms and Sleep—Implications for Health and Well-being. *Current Sleep Medicine Reports*, *3*, 104-112.
- Kantermann, T., & Eastman, C. I. (2018). Circadian phase, circadian period and chronotype are reproducible over months. *Chronobiology international*, *35*, 280-288.
- Kecklund, G., & Axelsson, J. (2016). Health consequences of shift work and insufficient sleep. *BMJ*, *355*, i5210.
- Matricciani, L., Blunden, S., Rigney, G., Williams, M. T., & Olds, T. S. (2013). Children's sleep needs: Is there sufficient evidence to recommend optimal sleep for children? *Sleep*, *36*, 527-534.
- Matricciani, L., Olds, T. S., Blunden, S., Rigney, G., & Williams, M. T. (2012). Never enough sleep: A brief history of sleep recommendations for children. *PEDIATRICS*, *129*, 548-556.
- McHill, A. W., Sano, A., Hilditch, C. J., Barger, L. K., Czeisler, C. A., Picard, R., & Klerman, E. B. (2021). Robust stability of melatonin circadian phase, sleep metrics, and chronotype across months in young adults living in real-world settings. *Journal of Pineal Research*, *70*. <https://doi.org/10.1111/jpi.12720>
- Moreno, C. R. C., Marqueze, E. C., Sargent, C., WRIGHT Jr, K. P., Ferguson, S. A., & Tucker, P. (2019). Working Time Society consensus statements: Evidence-based effects of shift work on physical and mental health. *Industrial Health*, *57*, 139-157.
- Roenneberg, T. (2012). What is chronotype? *Sleep and Biological Rhythms*, *10*, 75-76.
- Roenneberg, T., Kuehnle, T., Juda, M., Kantermann, T., Allebrandt, K., Gordijn, M., & Mellow, M. (2007). Epidemiology of the human circadian clock. *Sleep Medicine Reviews*, *11*, 429-438.
- Roenneberg, T., Pilz, L. K., Zerbini, G., & Winnebeck, E. C. (2019). Chronotype and Social Jetlag: A (Self-) Critical Review. *Biology*, *8*, 54.

- Silva, A., Simón, D., Pannunzio, B., Casaravilla, C., Díaz, Á., & Tassino, B. (2019). Chronotype-dependent changes in sleep habits associated with dim light melatonin onset in the Antarctic summer. *Clocks & Sleep, 1*, 352-366.
- Stone, J. E., McGlashan, E. M., Facer-Childs, E. R., Cain, S. W., & Phillips, A. J. K. (2020). Accuracy of the GENEActiv Device for Measuring Light Exposure in Sleep and Circadian Research. *Clocks & Sleep, 2*, 143-152.
- Tassino, B., Horta, S., Santana, N., Levandovski, R., & Silva, A. (2016). Extreme late chronotypes and social jetlag challenged by Antarctic conditions in a population of university students from Uruguay. *Sleep Science, 9*, 20-28.
- Tonetti, L., Natale, V., & Randler, C. (2015). Association between circadian preference and academic achievement: A systematic review and meta-analysis. *Chronobiology International, 32*, 792-801.
- Van Dongen, H. P., Rogers, N. L., & Dinges, D. F. (2003). Sleep debt: Theoretical and empirical issues*. *Sleep and Biological Rhythms, 1*, 5-13.
- Vetter, C., Pattison, P. M., Houser, K., Herf, M., Phillips, A. J. K., Wright, K. P., ... Glickman, G. (2021). A Review of Human Physiological Responses to Light: Implications for the Development of Integrative Lighting Solutions. *LEUKOS, 0*, 1-28.
- Zerbini, G., Winnebeck, E. C., & Mellow, M. (2021). Weekly, seasonal, and chronotype-dependent variation of dim-light melatonin onset. *Journal of Pineal Research, e12723*.

Anexos

Capítulo 8.

Informe de actividades en el marco de la Pasantía en el Laboratorio de Cronobiología Humana de la Universidad Federal do Paraná

8.1. Introducción

El Laboratorio de Cronobiología Humana de la Universidad Federal do Paraná es dirigido por Fernando Louzada, donde han desarrollado un importante trabajo de investigación sobre el sueño y los ritmos biológicos en jóvenes y sus consecuencias en la salud y la cognición, muy similar a la línea de investigación que yo he desarrollado durante mis estudios de Posgrado en Uruguay.

8.2. Actividades desarrolladas

A mi llegada se me fue asignado un puesto de trabajo en la oficina del Profesor Fernando Louzada, con quien entonces pude tener intercambios continuos acerca del trabajo que estoy desarrollando y del que están desarrollando en Curitiba. A continuación presento una descripción detallada de las actividades realizadas y algunos de sus resultados.

8.2.1. Actividades relacionadas directamente con la tesis

Como Fernando Louzada fue nombrado integrante del Tribunal de mi Tesis, aproveché la estancia para conversar en numerosas ocasiones sobre la misma, sus observaciones y sus sugerencias, que fueron incorporadas a la versión definitiva de mi Tesis, en la que estuve trabajando durante parte del tiempo de la Pasantía. Además, estuve explorando nuevos análisis de los datos que podrían generar resultados complementarios y sugerir nuevas problemas de investigación.

Durante mi pasantía además pude intercambiar sobre el último manuscrito que integra mi tesis de Doctorado (Estevan, Coirolo, Tassino, & Silva, In prep.), donde se presentan los últimos resultados de mi tesis y que aún no ha sido enviado para revisión a la revista *Sleep Medicine*.

8.3. Actividades relacionadas con métodos de análisis

En el Laboratorio de Cronobiología tienen equipos de registro de acelerometría diferentes a los que trabajamos en Uruguay (ActTrust, <https://www.condorinst.com.br/en/acttrust-actigrafo/>), y también utilizan un programa específico para esos equipos (ActStudio, <https://www.condorinst.com.br/en/acttrust-actigrafo/>). En el marco de la pasantía estuve explorando sus programas de análisis y haciendo estudios comparativos entre su estrategia de análisis y la nuestra. Además de varios intercambios puntuales, realicé una presentación sobre estrategias posibles para complementar nuestro trabajo, identificando puntos divergentes y convergentes.

Además, exploré soluciones abiertas para el cálculo de variables cronobiológicas no paramétricas para R disponibles en CRAN (<https://cran.r-project.org/>). En particular, utilicé las librerías `nparACT` (<https://cran.r-project.org/web/packages/nparACT/index.html>) y `cosinor` (<https://cran.r-project.org/web/packages/cosinor/index.html>) para analizar datos de Brasil y Uruguay, estrategia que fue presentada en un seminario interno del laboratorio. Además, también estuve explorando las novedades de la nueva versión de GGIR (2.6, <https://cran.r-project.org/web/packages/GGIR/index.html>), y cómo emplearla para obtener las distintas variables de actividad segmentadas por horas, que fue lo que yo había realizado en mi doctorado.

Por último, desarrollé códigos para el cálculo de algunas variables relevantes (ej: sleep regularity index) adaptados para los datos que tienen en Brasil y que podrán ser empleados en ambos países.

8.4. Actividades relacionadas con re-análisis de datos

Fernando Louzada me compartió algunas bases de datos ya empleadas (Moreno et al., 2015; Santos, Pereira, & Louzada, 2021) para trabajar. Estuve realizando algunos estudios descriptivos y exploratorios, sobre los que luego hice una presentación de los principales resultados (ver por ejemplo Fig. 8-1). Este es un trabajo que se continuará desde Uruguay para identificar si existen resultados relevantes y novedosos que permitan nuevas publicaciones.

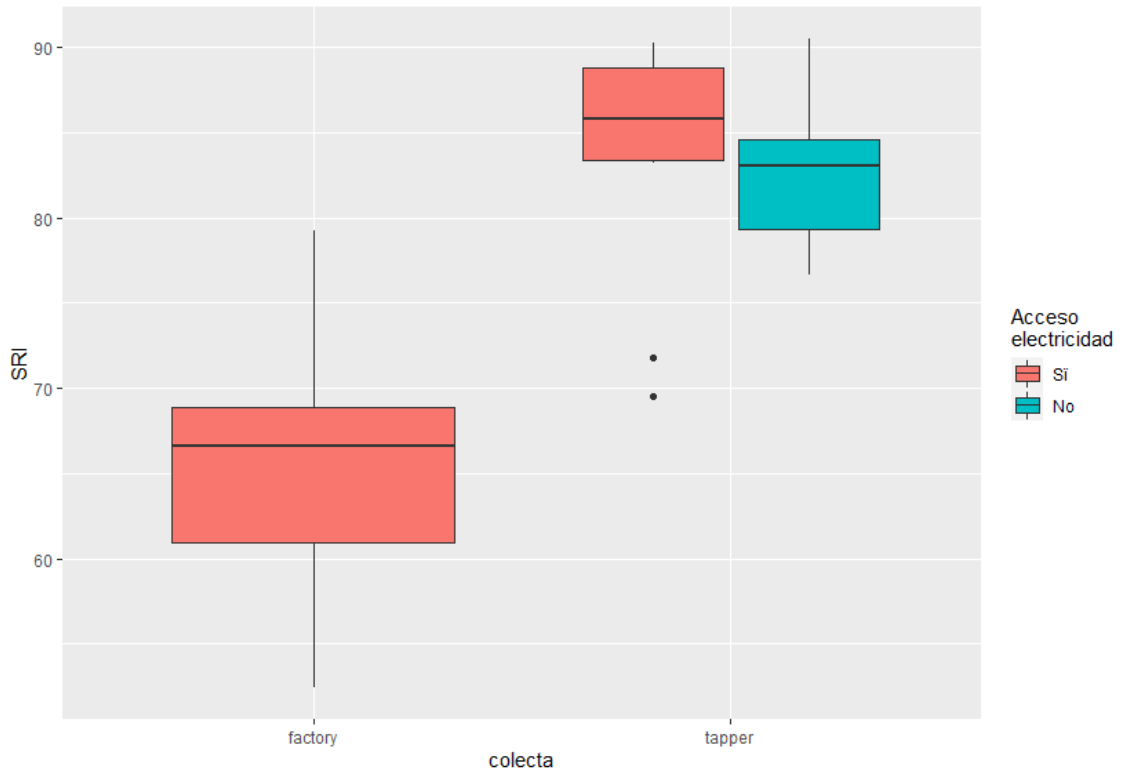


Figure 8-1. Comparación del índice de regularidad del sueño (SRI) entre trabajadores con un sin acceso a electricidad y según si trabajaban en el campo (rubber tappers) o en una fábrica de preservativos.

Además estuve explorando datos del Laboratorio de series temporales de medidas de temperatura con los equipos que tienen en el laboratorio, que cuentan con sensores para temperatura ambiental y de piel. Los resultados muestran que ambos registros están muy acoplados (Fig. 8-2), lo que sugiere que los sensores para el registro de la temperatura de la piel no son buenos o no están bien colocados en esos dispositivos. Las diferencias observadas entre cronotipos no parecen originarse en diferencias en el sistema circadiano y su *entrainment* sino a diferencias en el comportamiento (por ejemplo, la hora en que se levantan o salen al exterior). Nuestros equipos en Uruguay no cuentan con sensores de temperatura corporal, pero hay una versión que sí los tiene. Evaluar la calidad de estos registros es fundamental para las nuevas adquisiciones del grupo en Uruguay.

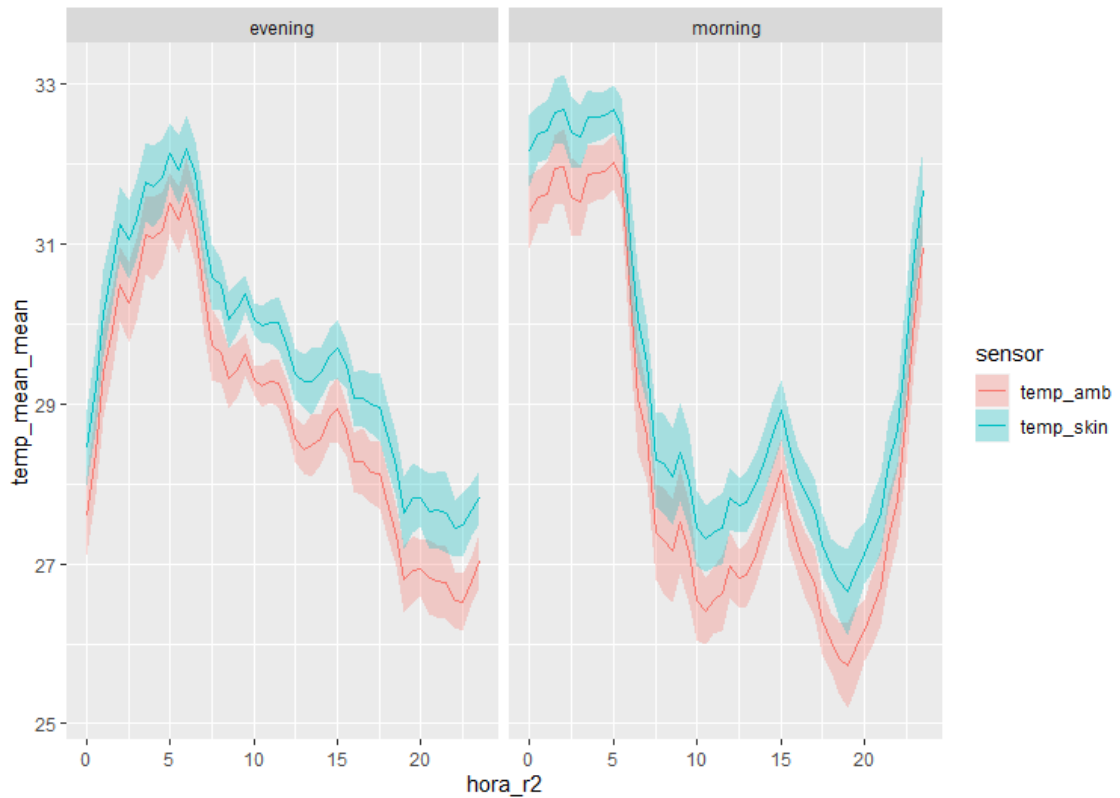


Figura 8-2. Gran promedio de los registros de temperatura ambiental y a nivel de piel según el cronotipo de los sujetos (vespertinos vs matutinos).

8.5. Actividades académicas

Durante la Pasantía asistí a la defensa de Doctorado de Flávio Augustino Back titulada *Fatores associados à desistência de participação em programas de exercício físico: o papel do cronotipo e da qualidade de sono*, estudiante de doctorado de Fernando Louzada.

Además, realicé una presentación de los resultados de mi Tesis de Doctorado en el marco del Programa de Pós Graduação em Fisiologia da Universidade Federal do Paraná que titulé *Determinants and consequences of sleep in young people: Some advances from Uruguay*.

Por último, realicé el seminario *Digital tools for academic work* para los estudiantes del Laboratorio de Cronobiología, donde presenté distintas herramientas que usamos frecuentemente en Uruguay, y particularmente algunos programas y bibliotecas abiertas útiles para el trabajo en Cronobiología.

8.6. Proyectos a futuro

Durante la pasantía también pudimos conversar sobre proyectos a futuro. Por un lado, ambos grupos de investigación estamos desarrollando un trabajo de investigación con acelerometría en niños, así que aprovechamos para intentar coordinar las colectas de datos y análisis. Mientras nosotros ya estamos en fase de análisis, ellos recién están comenzando con el trabajo piloto por lo que los estuve asesorando sobre estrategias de análisis. Particularmente, ellos tienen el desafío de una colecta masiva de datos (>2000 participantes), por lo que resulta fundamental el desarrollo de códigos para procesamiento automático de esos datos.

Además, este año 2022 habrá un llamado del FCE-ANII al que postularé. En esta estancia aprovechamos también a pensar posibles estudios multicéntricos (Montevideo-Curitiba-Natal) que permitan aprovechar las similitudes y diferencias regionales en la investigación cronobiológica. En particular, Uruguay es una región con hábitos muy tardíos y con una latitud -35, mientras que Natal tiene una latitud -5 y Curitiba una posición intermedia.

Listado de Referencias

- Estevan, I., Coirolo, N., Tassino, B., & Silva, A. (In prep.). The influence of light and physical activity on the timing and duration of sleep: Insights from natural model of dance training in shifts. *Sleep Medicine*.
- Moreno, C. R. C., Vasconcelos, S., Marqueze, E. C., Lowden, A., Middleton, B., Fischer, F. M., ... Skene, D. J. (2015). Sleep patterns in Amazon rubber tappers with and without electric light at home. *Scientific Reports*, 5. <https://doi.org/10.1038/SREP14074>
- Santos, J. S., Pereira, S. I. R., & Louzada, F. M. (2021). Chronic sleep restriction triggers inadequate napping habits in adolescents: A population-based study. *Sleep Medicine*, 83, 115-122.