



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

“Santa María de los Buenos Aires”

FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

Tesis de doctorado

Cronobiología del Aislamiento Antártico:

la utilización de la Base Belgrano II como modelo de desincronización
biológica y análogo espacial

Autor

Agustín Leandro Folgueira

Director

Dr. Daniel Eduardo Vigo

Fecha

Abril 2022

Lugar de trabajo

Ejército Argentino

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	09
2. INTRODUCCIÓN.....	11
2.1. LOS RITMOS BIOLÓGICOS	11
2.2. LOS RITMOS CIRCADIANOS.....	13
2.2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	13
2.2.2. CICLO SUEÑO / VIGILIA.....	15
2.2.2.1. SUEÑO NOCTURNO	15
2.2.2.2. SIESTAS	20
2.2.2.3. CRONOTIPO.....	21
2.2.3. RITMO DE TEMPERATURA CORPORAL PERIFÉRICA.....	22
2.2.4. REGULACIÓN AUTONÓMICA DEL RITMO SINUSAL.....	25
2.2.5. RITMO DE NIVEL DE ALERTA	30
2.3. CRONODISRUCCIÓN	32
2.3.1. TRASTORNOS DEL SUEÑO POR ALTERACIÓN DEL RITMO CIRCADIANO.....	32
2.3.2. SÍNDROME DE SUEÑO INSUFICIENTE.....	36
2.4. LA ANTÁRTIDA COMO MODELO DE DESINCRONIZACIÓN BIOLÓGICA	38
2.5. LA ANTÁRTIDA COMO ANÁLOGO ESPACIAL	40
2.7. PLANTEO DEL PROBLEMA	43
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	46
3.1. OBJETIVOS	46
3.2. HIPÓTESIS.....	46
4. MÉTODOS.....	47
4.1. BASE BELGRANO II	47
4.2. DISEÑO	50
4.3. SUJETOS	51
4.4. MEDICIONES.....	51
4.4.1. VALORES ANTROPOMÉTRICOS.....	51
4.4.2. CICLO SUEÑO / VIGILIA.....	53
4.4.2.1. ACTIGRAFÍA.....	53
4.4.2.2. CUESTIONARIOS Y DIARIO DE SUEÑO.....	55
4.4.3. RITMO CIRCADIANO DE TEMPERATURA CORPORAL PERIFÉRICA	56
4.4.4. REGULACIÓN AUTONÓMICA DEL RITMO SINUSAL	57
4.4.5. RITMO DEL NIVEL DE ALERTA (PVT) DURANTE EL DÍA	59
4.5. PLAN DE ANÁLISIS	60
4.6. ASPECTOS ÉTICOS	60

5. RESULTADOS	61
5.1. VALORES ANTROPOMÉTRICOS	61
5.2. CICLO SUEÑO / VIGILIA	62
5.2.1. ACTIGRAFÍA (SUEÑO NOCTURNO Y SUEÑO DIURNO)	62
5.2.2. CRONOTIPOS	67
5.2.3. CUESTIONARIOS DE SUEÑO	68
5.3. RITMO CIRCADIANO DE TEMPERATURA CORPORAL PERIFÉRICA	69
5.4. REGULACIÓN AUTONÓMICA DEL RITMO SINUSAL (DIFERENCIA DÍA / NOCHE)	71
5.5. NIVEL DE ALERTA (TEST DE VIGILANCIA PSICOMOTORA) DURANTE EL DÍA	74
6. DISCUSION	75
6.1. VALORES ANTROPOMÉTRICOS	75
6.2. CICLO SUEÑO / VIGILIA	76
6.3. RITMO CIRCADIANO DE TEMPERATURA CORPORAL PERIFÉRICA	86
6.4. ACTIVIDAD CARDIOVASCULAR Y REGULACIÓN AUTONÓMICA DEL RITMO SINUSAL	91
6.5. NIVEL DE ALERTA DURANTE EL DÍA	96
6.6. LIMITACIONES	104
7. CONCLUSIONES	105
8. GLOSARIO	108
9. ANEXOS	119
9.1. ANEXO I: ANTÁRTIDA	119
9.2. ANEXO II: DIARIO DE SUEÑO	124
9.3. ANEXO III: CUESTIONARIO DE PITTSBURGH	126
9.4. ANEXO IV: ESCALA DE SOMNOLENCIA DE EPOWRTH	127
10. REFERENCIAS	128

A mis Padres

AGRADECIMIENTOS

Este camino ha surgido por una profunda pasión por la ciencia médica y amor por la Patria. La providencia me ha conducido por un camino rodeado de personas increíbles e instituciones que quisiera agradecer profundamente, por acompañarme durante mi doctorado:

- A Daniel Vigo, que me ha dirigido por el camino de la ciencia y del conocimiento, depositando su confianza en mi trabajo, con una predisposición constante e inigualable. Su humildad, capacidad y compromiso han sido una guía constante en el buen obrar.
- A Guido Simonelli, que me ha acercado a Laboratorio de Cronofisiología. Una amistad forjada durante los primeros años universitarios, compartiendo el compromiso de trabajar por una sociedad más justa.
- A Camila, Santiago y a los integrantes del Laboratorio de Cronofisiología. Siempre con una muy buena predisposición me han permitido aprender una infinidad de conocimientos de Cronobiología.
- A la dotación 2014 de la Base Belgrano II. Su excepcional voluntad para colaborar con el estudio me ha permitido obtener datos científicos de calidad y compartir uno de los momentos más felices de mi vida.
- Al Ejército Argentino, institución que me ha entusiasmado a emprender y superar los desafíos. Sus valores que día a día se ven plasmados en sus filas, genera un orgullo y gratitud por pertenecer.
- A la Universidad Católica Argentina, comunidad académica que me ha permitido emprender este camino de búsqueda del conocimiento, siempre con una mirada ética al servicio de la humanidad.
- Al Instituto Antártico Argentino, organismo científico que ha permitido coordinar y desarrollar la actividad científica en el continente blanco, permitiendo el ingreso de nuevos proyectos.
- Al Hospital Militar Central, que me ha permitido realizar la residencia de Clínica Médica y Neurología, compartiendo conocimientos y las nobles tradiciones de la profesión médica con conciencia y dignidad.
- Al Servicio de Neurología del Hospital Militar Central, la gran familia militar con la cual he tenido la suerte de crecer y formarme durante importantes años y me ha permitido cosechar valiosas amistades.
- Al Coronel Guillermo Lorente, como segundo comandante Antártico se ha mostrado siempre interesado y totalmente predispuesto al desarrollo de la investigación, cumpliendo un rol clave en la motivación de la tripulación para realizar las mediciones durante la campaña.
- Al General Justo Treviranus, comandante Antártico. Ha promovido y sostenido el proyecto de investigación para que continúe durante los siguientes años y tenga su aceptación en el ámbito militar.
- A la Lic. Marcela Ovejero y su Coordinación de Bienestar del Personal de las Fuerzas Armadas, por brindarme su interés y colaboración para lograr el desarrollo de la tesis, creando el espacio y las posibilidades de aplicación dentro del Ministerio de Defensa.

- A Marta Barbarito, jefe Departamento Psicología Antártica, experimentada científica y pionera en nuestro país en la ciencia del comportamiento. Me ha brindado afecto y continua colaboración en este estudio.
- A Stella Maris Valiensi del Servicio de Neurología del Hospital Italiano de Buenos Aires, por brindarme la formación en Medicina del Sueño y hacer de la salud de los pacientes la primera de las preocupaciones.
- A Juan Manuel Cuiuli, quien se desempeñó como médico de la Dirección Antártica del Ejército Argentino y me facilitó y acompañó durante la preparación de mi despliegue a la Antártida.
- A Juan Manuel López, mi fiel compañero de la residencia de Neurología del Hospital Militar Central. Voluntad incansable de colaboración y emprendimiento, apoyo fundamental durante esos años.
- Al Profesor Horacio Conesa, que me acompañó y guio durante mis primeros años como estudiante de medicina y docente de neuroanatomía. Supo despertar en mí la pasión por la docencia e investigación universitaria, desarrollando actitudes y aptitudes que marcaron mi carrera universitaria.
- A Dolores y su familia, que me ha sabido brindar la comprensión y compañía necesaria para poder avanzar en desarrollo del doctorado, sus consejos en los hermosos desafíos que hemos transitado.
- A Hernán, mi hermano mayor, quien siempre estuvo a mi lado, cuidándome y ayudándome en todo lo que necesitaba. Sin su acompañamiento no hubiera sido posible continuar con este proyecto de tesis.
- A mis Padres, fuente y ejemplo de vida. Su sencillez, cariño y trabajo incansable han logrado mantener una hermosa familia. Supieron desarrollar y sostener a un niño con espíritu curioso, pasión por la ciencia, amor a la Patria.

Financiamientos:

* PIDDEF 2014 06

* PICTO UCA 2017 0068

* ONR N62909-20-1-2064

PUBLICACIONES

Artículos

Folgueira, A., Simonelli, G., Plano, S., Tortello, C., Cuiuli, J. M., Blanchard, A., Patagua, A., Brager, A. J., Capaldi, V. F., Aubert, A. E., Barbarito, M., Golombek, D. A., & Vigo, D. E. (2019). ***Sleep, napping and alertness during an overwintering mission at Belgrano II Argentine Antarctic station***. Scientific reports, 9(1), 10875. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46900-7>

Presentaciones en congresos

Folgueira A, Cuiuli JM, Patagua A, Agostino P, Plano S, Zimmerman A, Barbarito M, Tuerlinckx F, Van den Bergh O, Aubert A, Goswami N, Mulder E, Nicolas M, Simonelli G, Lockley S, Golombek D, Vigo D. ***Actigraphic assessment of sleep-wake cycle during over-wintering at Belgrano II Argentine Antarctic station***. XIII Latin American Symposium on Chronobiology November 2015, from 3 to 8. São Paulo, Brazil.

Folgueira A, López JM, Simonelli G, Cuiuli JM, Crippa V, Blanchard A, Agostino P, Plano S, Barbarito M, Zimmerman A, Golombek D, Vigo D. ***Dormir en Regiones Polares: Determinación del Ritmo de Sueño y Vigilia durante una Campaña Antártica en la Base Belgrano II***. 53° Congreso Argentino de Neurología. Organizado por la Sociedad Neurológica Argentina. Realizado en la Ciudad de Mar del Plata, los días 26, 27 y 28 de octubre de 2016.

Folgueira A, López JM, Acosta V, Casas S, Pérez Arenas A, Tourreilles M, Mattiazzi M, Simonelli G, Vigo D. ***Análisis de Calidad de Sueño y Nivel de Alerta en la Base Antártica Belgrano II***. 54° Congreso Argentino de Neurología. Organizado por la Sociedad Neurológica Argentina. Realizado en la Ciudad de Mar del Plata, los días 29 de noviembre al 1 de diciembre de 2017.

Folgueira AL, Simonelli G, Plano S, Tortello C, Caldart C, Cuiuli JM, Barbarito M, Golombek D, Vigo D. ***Alteración del Ritmo Circadiano de Temperatura Corporal en la Noche Polar Antártica***. 56° Congreso Argentino de Neurología. Organizado por la Sociedad Neurológica Argentina. Realizado en la Ciudad de Mar del Plata, los días 19 al 22 de noviembre de 2019.

ABREVIATURAS

aMT6s: 6-Sulfatomelatonina urinario

DLMO: Dim Light Melatonin Onset

ECG: Electrocardiograma

EEG: Electroencefalograma

ESS: Escala de Somnolencia Diurna de Epworth

EVA: Actividad Espacial Extravehicular

FC: Frecuencia Cardíaca

FR: Frecuencia Respiratoria

GABA: ácido gamma amino butírico

h: Hora

HF (%): Potencia de HF en unidades porcentuales $HF (\%) = 100 \times HF / TP$.

HF (ms²): Potencia en el rango de alta frecuencia (0,15 Hz - 0,4 Hz).

HF (n.u.): Potencia de HF en unidades normalizadas $HF (n.u.) = 100 \times HF / (LF + HF)$.

HF: Variabilidad de Alta Frecuencia

ISS: Estación Espacial Internacional

JLS: Jet Lag Social

LF (%): Potencia LF en unidades de porcentaje $LF (\%) = 100 \times LF / TP$.

LF (ms²): Potencia en el rango de baja frecuencia (0.04 Hz - 0.15 Hz).

LF (n.u.): Potencia LF en unidades normalizadas $LF (n.u.) = 100 \times LF / (LF + HF)$.

LF / HF: Relación baja frecuencia / alta frecuencia. Refleja el equilibrio simpático - parasimpático.

LF: Variabilidad de Baja Frecuencia

m: Metros

mns: metros sobre el nivel del mar

min: Minutos

MAPA: Monitoreo ambulatorio de la presión arterial o presurometría de 24 horas

MCTQ: Cuestionario de Cronotipos de Munich

MSF: El tiempo medio de sueño en días libres

MSFc: El tiempo medio de sueño en días libres corregido

MSW: El tiempo medio de sueño en días laborales

NASA: National Aeronautics and Space Administration

NSQ: Núcleo Supraquiasmático

PIM: Proportional Integration Mode

PRC: Curvas de Respuesta de Fase

PSG: Polisomnografía

PSQI: Índice de Calidad de Sueño de Pittsburgh

REM: Rapid Eye Movement (movimientos oculares rápidos)

RMSSD: Raíz cuadrada de la media de las diferencias al cuadrado entre intervalos RR adyacentes en ms

RRm: Media de la duración de los intervalos RR en ms

SAD: Trastorno Afectivo Estacional

SDF: Duración del sueño en los días libres

SDNN: Desvío estándar de los intervalos RR en ms

SDRR: Desvío estándar de los intervalos RR en ms

SDW: Duración del sueño en los días laborales

SNA: Sistema Nervioso Autónomo

SNC: Sistema Nervioso Central

SNP: Sistema Nerviosos Periférico

SOL: Latencia de Inicio de Sueño

TA: Tensión Arterial (o Presión Arterial)

TAD: Tensión Arterial Diastólica

TAS: Tensión Arterial Sistólica

TAT: Time Above Threshold

TIB: Tiempo en Cama

TRH: Tracto Retino Hipotalámico

TTR: Tiempo total de registro

TTS: Tiempo total de sueño

ULF (%): Potencia ULF en unidades de porcentaje $ULF (\%) = 100 \times ULF / \text{potencia total}$.

ULF (ms²): Potencia en el rango de frecuencia ultrabaja (<0,0033 Hz).

ULF: Variabilidad de Ultra Baja Frecuencia

VFC: Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca

VLF (%): Potencia VLF en unidades de porcentaje $VLF (\%) = 100 \times VLF / TP$.

VLF (ms²): Potencia en el rango de frecuencia muy baja (0,0033 Hz - 0,04 Hz en grabaciones a largo plazo)

VLF: Variabilidad de Muy Baja Frecuencia

VLPO: Área Ventrolateral Preóptica del Hipotálamo Anterior

WASO: Tiempo despierto luego de Iniciado el Sueño

ZCM: Zero Crossing Mode

1. RESUMEN

Si bien los trastornos en el ritmo sueño-vigilia han sido estudiados en relación a la permanencia prolongada en bases antárticas, los mecanismos autonómicos subyacentes y su implicancia en el mantenimiento de la alerta no han sido descriptos. Por otro lado, la alteración de los ritmos circadianos es uno de los riesgos a controlar como parte de la actividad humana en el espacio. El continente Antártico es reconocido como el análogo terrestre más fiel de los aspectos bio-psico-sociales que se pondrían en juego en viajes de esta naturaleza. El objetivo principal de este proyecto es evaluar el impacto cronobiológico de un año de aislamiento antártico sobre los habitantes de la Base Belgrano II. Se evaluaron 13 sujetos durante el año 2014, a través de mediciones no invasivas de sus ritmos circadianos durante los meses de marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre. En forma específica, se evaluó el ritmo sueño-vigilia a través de actigrafía durante siete días, el ritmo circadiano de temperatura corporal periférica a través de sensores cutáneos de temperatura también durante siete días, el ritmo circadiano de la regulación autonómica cardíaca mediante un registro holter de frecuencia cardíaca de 24 h y pruebas informáticas de alerta, dos veces durante un día. Se observó un sueño de menor duración y un retraso no significativo en el horario de inicio de sueño durante el mes de julio, probablemente relacionados a la ausencia de luz solar durante la noche polar. En el mes de septiembre hubo un incremento de la duración de las siestas, asociados a un ritmo de temperatura de menor amplitud y menor fuerza, lo que brinda indicios de una desincronización circadiana. No hubo alteraciones de la actividad autonómica ni deterioro del nivel de alerta durante las mediciones. Nuestros resultados replican hallazgos anteriores con respecto a las alteraciones de sueño durante el invierno en la Antártida, agregando la descripción del papel de la siesta, y su relación con la pérdida del ritmo circadiano de temperatura corporal, y el reporte de un posible efecto modulador de la estacionalidad en la relación entre el sueño y el estado de alerta. La siesta debe considerarse un factor importante en la programación de actividades de las tripulaciones multiculturales que participan en la Antártida. El estudio de la respuesta cronobiológica a situaciones de aislamiento extremas, aumenta nuestro entendimiento de los mecanismos fisiológicos subyacentes y puede contribuir a generar medidas que posibiliten su recuperación cuando se ven alterados, tendientes a reducir la fatiga y aumentar el rendimiento de sujetos en diversos ámbitos operacionales, reducir tasas de accidentes derivados de la disminución del estado de alerta, y reducir problemas de salud derivados de los trastornos de sueño.

PALABRAS CLAVE

Cronobiología, sueño, sistema nervioso autónomo, alerta, aislamiento, Antártida, exploración espacial.

ABSTRACT

Although sleep-wake rhythm disorders have been studied in relation to prolonged stay in Antarctic stations, the underlying autonomic mechanisms and their implication in maintaining alertness have not been described. The alteration of circadian rhythms is one of the risks to be controlled as part of human activity in space. The Antarctic continent is recognized as the most faithful terrestrial analog of the bio-psycho-social aspects that would be observed in trips of this nature. The main objective of this project is to evaluate the chronobiological impact of a year of Antarctic isolation on the inhabitants of the Belgrano II station. During 2014, 13 subjects were assessed through non-invasive measurements of their circadian rhythms during the months of March, May, July, September and November. Specifically, each month the sleep-wake rhythm was assessed through actigraphy during seven days, the circadian temperature rhythm was assessed through peripheral body temperature sensors also during seven days, the cardiac autonomic regulation was assessed through a Holter ECG device during 24 hours, and alertness was assessed through psychomotor vigilance tests twice a day during one day. A shorter sleep duration and a non-significant delay in the sleep onset time were observed during the month of July, probably related to the absence of sunlight during the polar night. In the month of September there was an increase in the duration of naps, associated with a temperature rhythm of less amplitude and less strength, which are markers of circadian desynchronization. There were no alterations in autonomic activity or deterioration in the level of alertness during the measurements. Our results replicate previous findings regarding sleep disruption during overwintering in Antarctica, adding the description of the role of napping, its relation with the dampening of temperature circadian rhythms and the report of a possible modulatory effect of seasonality in the relation between sleep and alertness. Napping should be considered as an important factor in the scheduling of activities of multicultural crews that participate in Antarctica. The study of the chronobiological response to extreme isolation situations increases our understanding of the underlying physiological mechanisms and can contribute to generate measures that enable their recovery when they are altered, tending to reduce fatigue, increase the performance of subjects in different operational settings, reduce accident rates derived from decreased alertness and reduce health problems derived from sleep disorders.

KEYWORDS

Chronobiology, sleep, autonomic nervous system, alert, isolation, Antarctica, space exploration.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Los ritmos biológicos

Un *ritmo* se define como una secuencia de eventos que se repite de forma regular a lo largo del tiempo. Un *ritmo biológico* es una oscilación de una función fisiológica que se repite en forma regular durante una determinada cantidad de tiempo. La naturaleza oscilatoria de las funciones fisiológicas ha surgido desde las primeras formas de vida en la Tierra, que les ha tocado adaptarse a un ambiente cambiante y periódico, con variaciones regulares y otras irregulares. Los cambios del ambiente que se repiten constantemente cada un cierto período de tiempo generan una periodicidad previsible, como los ciclos de día y noche, los ciclos lunares y las estaciones del año. Estos ciclos han modulado la evolución y adaptación de los seres vivos al planeta, generando respuestas predictivas (*hemostasis predictiva*) para los cambios regulares y respuestas reactivas apropiadas para los cambios irregulares (*hemostasis reactiva*). Ciertas variables ambientales, como la luz solar y la temperatura, pueden ayudar a estimar de forma aproximada el momento del día. Por esta razón, se cree que los seres vivos han desarrollado un sistema interno de control de tiempo, que permite predecir el momento del día y prepararse en consecuencia, sin tener que depender de las señales ambientales. La conducta anticipatoria se observa en distintos ritmos fisiológicos, bioquímicos y conductuales, como la temperatura corporal, la secreción hormonal, la función digestiva, la actividad cardiovascular, el nivel alerta y atención, las horas de sueño y vigilia entre otras. Estas variaciones determinan una organización periódica, lo que permite que exista una coincidencia máxima de la actividad de un órgano o sistema con el momento del día o la época del año en que más se requiere especialmente de tal función. La ritmicidad persiste aun permaneciendo aislado del medio ambiente, debido a la existencia de un *reloj biológico interno*, ubicado en el hipotálamo, centro principal del manejo de las funciones homeostáticas del cuerpo, la función neuroendocrina, autonómica y conductual (Golombek, 2007) (Cardinali & Golombek, 1994a) (Cardinali & Sánchez Barceló, 1994) (Cardinali, 2013b).

Los ritmos biológicos se pueden describir mediante un conjunto específico de características, que surgen de ajustar una curva cosinusoidal a los datos (*Figura 1*): a) *Período*: duración de un ciclo biológico, determinado por la b) *Frecuencia*, que es el número de ciclos de una variable en una determinada unidad de tiempo; un segundo constituye el Hercio (Hz). c): *Mesor*: valor medio de una variable a lo largo del tiempo estudiado. d) *Amplitud*: diferencia entre mesor y el valor máximo alcanzado por la variable. e) *Fase*: relación entre dos o más ritmos, describe en qué momento se encuentra el ritmo en estudio con respecto a una función externa (ciclo de luz / oscuridad) o una función interna (ciclo de sueño / vigilia). f) *Acrofase*: hora del día en el que la función biológica estudiada alcanza su valor máximo a lo largo de período; g) *Batifase*: momento del día en el que la función biológica estudiada alcanza su valor mínimo (Golombek, 2007) (Cardinali & Golombek, 1994a) (Smolensky & D'Alonzo, 1993) (Russell Foster & Kreitzman, 1999b).

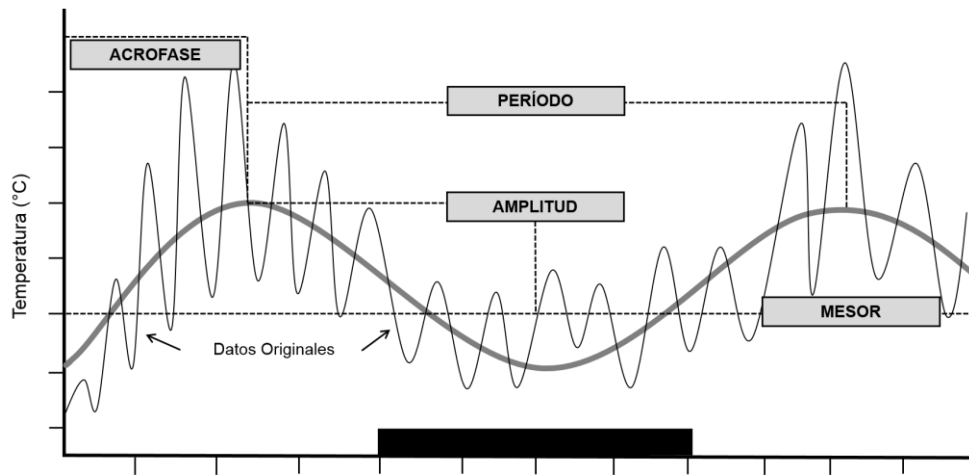


Figura 1. Características de un ritmo biológico

Los ritmos biológicos presentan frecuencias que van desde milisegundos hasta años; se los clasifica según su duración en condiciones constantes como: a) *Circadianos*: cuando se aproximan a un periodo de 24 horas (20 a 28 horas), como el ritmo de temperatura corporal y de sueño-vigilia. b) *Ultradianos*: los que tienen periodos menores, como los ritmos cerebrales (0,1 segundos), el ciclo cardíaco (1 s), el ciclo respiratorio (6 s), ciclos de sueño (90 minutos) y algunas secreciones hormonales (60 min). c) *Infradianos*: a los que tienen periodos mayores a un día (mensuales o estacionales), como el ciclo menstrual y la hibernación. d) *Circanuales*: cuando el ritmo es cercano a un año tropical (365,25 días). Es interesante recordar que los conceptos ciclo y frecuencia son diferentes, el ciclo cardíaco es la secuencia de eventos (mecánicos, eléctricos, sonoros y presurométricos) relacionados con el flujo de sangre a través de las cavidades cardíacas (aurículas y ventrículos). La frecuencia cardíaca es promedio del número de latidos en los ciclos cardíacos ocurridos en un minuto. Esta frecuencia a su vez presenta variaciones circadianas, infradianas y ultradianas. (Golombek, 2007) (Cardinali & Golombek, 1994a) (Cardinali & Sánchez Barceló, 1994) (Russell Foster & Kreitzman, 1999b) (Russell Foster & Kreitzman, 1999c).

2.2. Los ritmos circadianos

2.2.1. Características generales

Los *ritmos circadianos* son los ritmos más relevantes de la fisiología humana y se han conservado en términos evolutivos, están determinados genéticamente y bajo control del núcleo supraquiasmático (NSQ) de hipotálamo anterior (Cardinali & Golombek, 1994a) (Golombek, 2007). El NSQ es una estructura par que conforma el “marcapasos central” o “reloj biológico interno”, unos pocos miles de neuronas que generan y mantienen los ritmos circadianos de todas las células del organismo, así como la sincronización de las funciones biológicas con los ciclos ambientales de luz y oscuridad. Sus neuronas tienen una actividad rítmica propia, que se expresa con una elevada actividad durante el día y baja actividad durante la noche (Rusell Foster & Kreitzman, 1999b) (Rusell Foster & Kreitzman, 1999d) (Cardinali & Golombek, 1994b) (Golombek & Rosenstein, 2010) (Cardinali, 2013b). El NSQ actúa sobre neuronas neuroendocrinas y autonómicas del hipotálamo, proyecta señales nerviosas y humorales al resto del cuerpo humano, también es responsable de mantener los patrones de sueño, sintonizar y controlar la mayoría de los ritmos fisiológicos y de comportamiento (Cardinali, 1994b) (Grote et al., 2013).

Los ritmos circadianos se desarrollaron en base al tiempo ha tardado nuestro planeta en dar una vuelta alrededor de su propio eje, actualmente 23 horas y 56 minutos. Adaptándose a la duración de los ciclos alternos de luz y oscuridad, cuya amplitud está además influenciada por la estación del año y latitud terrestre (Roenneberg et al., 2019). Bajo estas circunstancias, el NSQ genera oscilaciones endógenas cercanas a 25 horas, es decir que existe un retraso aproximado de una hora en relación a un día terrestre. Bajo situaciones experimentales de aislamiento extremo, sin exposición a la luz solar ni a los estímulos sociales, se ha comprobado que el reloj biológico tiene un “*funcionamiento libre o free running*” de aproximadamente unas 25 horas (rango 24,2 a 26,6 h) (Cardinali, 1994b) (Cardinal, 2002) (Golombek, 2007), 24,5 h (rango 24,2 a 24,9 h) (Pandi-Perumal et al., 2007) o 24 h y 11 min (24,18 h) (Dijk & Lockley, 2002) (Basner et al., 2013).

Los ritmos biológicos están así bajo la influencia de un sincronizador endógeno (reloj biológico interno) y necesitan de un sincronizador exógeno ambiental “*Zeitgebers*” (dador de tiempo), para lograr un acoplamiento efectivo al ciclo ambiental donde está expuesto, en torno a las 24 horas (*Figura 2*). La principal señal cíclica del ambiente es la luz solar y sus ciclos, la luz natural de día y la oscuridad de noche. La sincronización con el ambiente suele ser adecuada cuando la duración de su porción de luz (fotoperíodo) o su porción oscura (escotoperíodo) se corresponden y ninguna de las dos es demasiado corta en relación a la otra. La capacidad de sincronización del reloj biológico cambiará con la intensidad y amplitud del zeitgeber. La fuerza del zeitgeber se corresponde con su intensidad y diferencia entre fotoperíodo y escotoperíodo, a mayor fuerza mejor capacidad de sincronización. Otros estímulos ambientales también ejercen una influencia secundaria para la correcta adaptación de nuestros ritmos, como la temperatura ambiental, los hábitos sociales, el ejercicio y la disponibilidad de alimentos. Los sincronizadores secundarios adquieren relevancia cuando no se encuentra presente el zeitgeber principal, como en las regiones polares, donde el fotoperíodo es extremo, encontrándose meses de continua oscuridad en invierno o continua luminosidad en verano (Cardinali, 1994b) (Cardinali & Golombek, 1994a) (Cardinali & Golombek, 1994b) (Rusell Foster & Kreitzman,

1999b) (Russell Foster & Kreitzman, 1999c) (Golombek & Rosenstein, 2010) (Cardinali, 2013b) (Najjar et al., 2014) (Wichniak et al., 2017a) (Roenneberg et al., 2019).

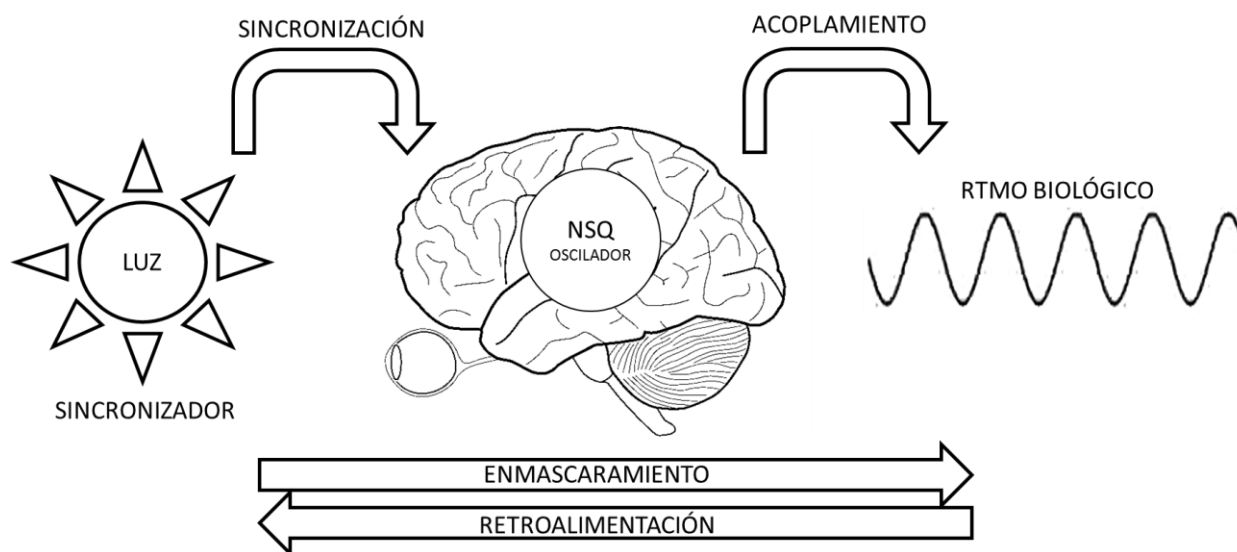


Figura 2. Esquema del Sistema Circadiano. El sincronizador ambiental (zeitgeber) modula y sincroniza la actividad del oscilador central (NSQ), que a su vez genera los ritmos biológicos mediante el mecanismo de acoplamiento (M. D. Marques et al., 1997) (Golombek, 2007).

El período de una variable biológica estudiada se denomina τ (tau), es variable entre sujetos, pero constante para cada individuo, mientras se mantengan estables las condiciones ambientales. El período del sincronizador ambiental se denomina T (TAU). La *relación de fase* ϕ (psi) es la diferencia entre la acrofase de un ritmo y su sincronizador ambiental, midiéndose en tiempo (horas o minutos) o en grados ($1 \text{ hora} = 15^\circ$ o $24 \text{ horas} = 360^\circ$). Cuando un ritmo circadiano particular τ (tau) es expuesto a un sincronizador ambiental se genera una sincronización al período del ambiente; si el ritmo en estudio (τ) tiene una menor duración, la relación de fase (ϕ psi) es positiva y ocurre un *avance de fase*; si el ritmo en estudio tiene un τ (tau) de mayor duración, la relación de fase (ϕ psi) es negativa y ocurre un *retraso de fase*. Los ritmos T pueden acortarse o alargarse en un margen pequeño (18 a 30 horas) para modificar los ritmos circadianos. Los avances o retrasos de fase $\Delta\phi$ (delta psi) se expresan en minutos, horas o grados. La sincronización depende del momento del día cuando se exponga el estímulo, ya que existen momentos de sensibilidad y momentos de refractariedad. Estas respuestas no son simétricas, pueden predominar los avances o retrocesos de fase; además difieren entre los individuos en la magnitud de estos cambios. Las respuestas también dependen de la intensidad del estímulo, una exposición intensa en un individuo puede generar lo mismo que una exposición muy débil en otro individuo (Cardinali & Golombek, 1994a) (Russell Foster & Kreitzman, 1999b) (Wright et al., 2001) (Golombek, 2007) (Golombek & Rosenstein, 2010) (Cardinali, 2013b).

El sistema circadiano puede ser evaluado mediante biomarcadores con fuerte sincronización circadiana, fáciles de medir y registrables a intervalos frecuentes. Algunos de los más utilizados son el ciclo sueño-vigilia, la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y el nivel de alerta (Sarabia et al., 2008) (Adan et al., 2012) (Roenneberg et al., 2019).

2.2.2. Ciclo sueño / vigilia

2.2.2.1. Sueño nocturno¹

El sueño es un proceso fisiológico activo y recurrente fundamental para la salud física y mental, que genera una disminución periódica, parcial y reversible del nivel de conciencia. El sueño es el ritmo circadiano más evidente y se produce por la interacción de dos mecanismos (*Figura 3*), 1) *Proceso homeostático* reactivo (Proceso S), que impulsa el sueño, aumentando la tendencia al mismo a medida que transcurren las horas de vigilia, mientras que se disipa a medida que avanza el sueño; 2) *Proceso circadiano* predictivo (Proceso C), regulado por el NSQ e independiente de las horas de sueño y vigilia previa, generando una tendencia para iniciar el sueño en determinado momento del día, que coincide con la disminución de la temperatura corporal y una tendencia para finalizar el mismo cuando la temperatura aumenta. Para el inicio del sueño interaccionan estos dos mecanismos, con estructuras neuronales activadas y sustancias humORALES que se acumulan. La acumulación de adenosina durante la vigilia es responsable de la propensión al sueño (Proceso S), al inhibir progresivamente las neuronas GABA del hipotálamo anterior y prosencéfalo basal, que a su vez inhiben al área ventrolateral preóptica del hipotálamo anterior (VLPO). Las neuronas del VLPO desinhibidas y activas promueven el inicio del sueño. Durante el transcurso del día existen proyecciones circadianas del NSQ sobre el hipotálamo, que transmiten información a los sistemas de vigilia, para contrarrestar la influencia del Proceso S. Por otro lado, con la puesta del sol, la actividad del NSQ empieza a decaer (Proceso C). La secreción de melatonina inhibe al NSQ, reduciendo aún más su actividad y por lo tanto disminuyendo más su capacidad de neutralizar la propensión al sueño del Proceso S (Borbély & Achermann, 1999) (Cardinali et al., 2006) (Fuller & Lu, 2009) (Cardinali, 2013c) (Puertas Cuesta et al., 2015).

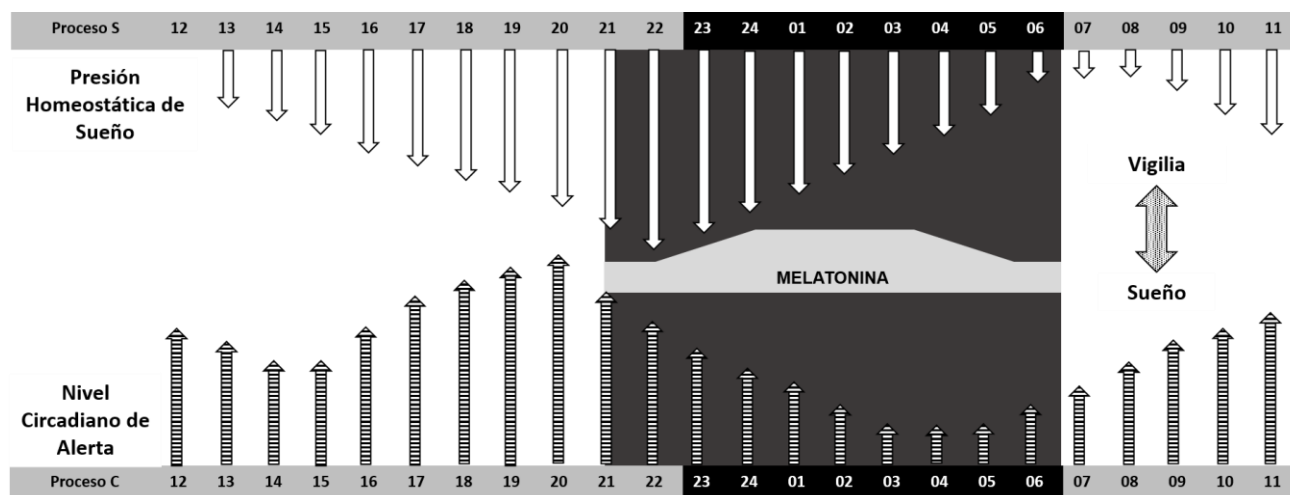


Figura 3. Modelo Borbély de procesos sueño. El sueño se produce por la interacción de dos mecanismos: 1) Proceso homeostático (proceso S): aumenta con las horas de vigilia y disminuye durante el sueño, contribuye a la propensión para conciliar el sueño. 2) Proceso circadiano (proceso C): regulado por el NSQ e independiente de las horas de vigilia previa, determina el nivel de alerta y funcionamiento cognitivo durante el día. El sueño se inicia cuando existe una fuerte

¹ El término sueño nocturno se refiere al mayor periodo de sueño obtenido durante un día, para diferenciarlo de las siestas, con independencia de si es nocturno o diurno; considerando que dichos términos pierden su significado habitual en latitudes extremas, como se verá más adelante.

necesidad para dormir debido a una vigilia prolongada (proceso S) y cuando el nivel circadiano de alerta es bajo (proceso C), lo cual coincide con el incremento de la secreción de melatonina y disminución de temperatura corporal central, bajo un contexto ambiental adecuado (Borbély & Achermann, 1999) (Cardinali, 2013c).

El sueño es un programa fisiológico sistémico con dos estados muy distintos, el *sueño No REM* (NREM) y el *sueño REM* (Rapid Eye Movement) o de movimientos oculares rápidos. Por cada noche se producen entre cuatro y seis ciclos de sueño, cada uno con una duración periódica aproximada de 90 minutos. Cada ciclo de sueño muestra un enlentecimiento progresivo de las ondas cerebrales, comenzando con sueño No REM, etapa N1 (transición), N2 (superficial) y N3 (lento o profundo), hasta llegar a REM, que presenta una actividad cerebral desincronizada similar a un estado de vigilia. El sueño lento predomina durante el primer tercio de la noche y tiene una fuerte influencia del proceso S (homeostático). La mayor parte del sueño REM ocurre en la segunda mitad de la noche y tiene una fuerte influencia del proceso C (circadiano). Un sueño normal de un adulto tiene un 20% de sueño REM y un 80% de sueño NREM (N1:5%, N2:50%, N3:25%). El umbral máximo para el despertar se ubica en N3 y el mínimo en REM. En el sueño REM se producen el 80% de la ensoñación, hay una profunda pérdida del tono muscular, a excepción del diafragma, del oído medio y de los músculos oculares, con una serie de signos vegetativos, como el aumento de la variabilidad de la tensión arterial, de la frecuencia cardíaca y una tendencia a la pérdida del control sobre la temperatura corporal. La configuración fisiológica de sueño REM desconecta del sistema motor somático y autonómico de forma tal que no se realice ningún programa motor que se acompañaría en los sueños. La cantidad de sueño lento depende del periodo de vigilia previa, aumenta cuando la persona no ha dormido o ha dormido poco las noches previas, siendo un indicador de la deuda homeostática de la vigilia (Brunner et al., 1990) (Borbély & Achermann, 1999) (Fuller & Lu, 2009) (Affanni & Cervino, 2002) (Chokroverty, 2011a) (Cardinali, 2013c).

Luego de un periodo fisiológico de vigilia, con predominio simpático catabólico, mucho consumo de energía y exposición de órganos y tejidos, se necesita un periodo reparador de sueño profundo. En sueño profundo predomina la secreción de hormonas anabólicas (GH, prolactina, insulina y leptina) y supresión de hormonas catabólicas (cortisol), lo que permite una recuperación física y aumento de la inmunidad celular. El sueño protege a los circuitos corticales contra el daño oxidativo al reducir la actividad cortical, especialmente la corteza frontal, que sufrió un excesivo consumo de oxígeno por la elevada actividad cognitiva. El sueño participa principalmente en los procesos de aprendizaje, reorganización de los circuitos neuronales y consolidación de la memoria, permitiendo que las conexiones sinápticas más fuertes activadas durante la vigilia persistan y aquellas más débiles sean eliminadas, contribuyendo a la fijación de lo útil y olvido de lo innecesario. Por su parte, el sueño REM tiene un papel destacado en la memoria emocional, reorganizando e integrando la información dentro de esquemas ya existentes. Si bien la memoria declarativa (semántica y episódica) y no declarativa (procedimientos) se benefician de forma óptima con la secuencia de sueño NREM y REM, la memoria declarativa se facilitaría en sueño NREM, mientras que las memorias procedimentales podrían beneficiarse más de la consolidación sináptica asociada al sueño REM (Affanni & Cervino, 2002) (Diekelmann & Born, 2010) (Cardinali, 2013c) (Puertas Cuesta et al., 2015) (Mantua & Spencer, 2017).

La *melatonina* es una molécula que brinda información temporal acerca de la duración de la noche (“hormona de la oscuridad”) a todas las células del organismo, una señal química circulante y un transductor neuroendocrino necesario para sincronizar los ritmos circadianos (“marcapaso químico endógeno”). La melatonina tiene un patrón circadiano interno de secreción, con niveles muy bajos durante las horas del día y niveles elevados durante la noche, independiente de la información lumínica externa. Sin embargo, esta secreción está influenciada por información circadiana externa, proveniente de la luz ambiental (Cardinali & Sánchez Barceló, 1994) (Golombek & Rosenstein, 2010) (Cardinali, 2013b) (Pesce et al., 2022). La sensibilidad máxima a la luz se encuentra a longitudes de onda de 446 nm a 480 nm del espectro de la luz. Los fotorreceptores de la retina que intervienen en la regulación circadiana tienen una máxima sensibilidad alrededor de los 460 nm, que se corresponde al espectro azul del sistema fotópico visual, suprimen con mayor fuerza la producción de melatonina y tiene un impacto en las respuestas, con un mayor incremento del nivel de alerta. El sistema fotorreceptor no visual de melanopsina, junto con los fotorreceptores visuales convencionales (conos y bastones), transmite información fótica a los núcleos supraquiasmáticos, por medio del tracto retinohipotalámico (TRH), su principal vía de entrada. Una serie de fibras autonómicas parten del NSQ y viajan por la columna gris intermedio lateral hasta llegar a los ganglios simpáticos cervicales superiores, que mediante proyecciones perivasculares alcanzan a los receptores adrenérgicos de la glándula pineal (Lewy et al., 1998) (Russell Foster & Kreitzman, 1999e) (Cajochen et al., 2000) (Wright et al., 2001) (Lockley et al., 2003) (Khalsa et al., 2003) (Cajochen et al., 2005) (Pandi-Perumal et al., 2007) (Golombek & Rosenstein, 2010) (Cardinali, 2013b) (Grote et al., 2013) (Najjar et al., 2014).

Durante las horas de luz ambiental la actividad del NSQ es elevada y se inhibe la liberación de melatonina, durante la oscuridad de la noche se inhibe el NSQ y se estimula la liberación de melatonina (Dijk & Lockley, 2002) (Pandi-Perumal et al., 2007). La melatonina no se almacena, a medida que se sintetiza durante la noche en la glándula pineal, difunde al líquido céfalo raquídeo (LCR) y por lo tanto, sus valores plasmáticos expresan su síntesis real (Cardinali & Sánchez Barceló, 1994) (Cardinali, 2013b). Los niveles de melatonina plasmática comienzan a aumentar gradualmente a partir de la transición día / noche (atardecer), alcanzado su nivel máximo hacia la mitad de la noche, descendiendo progresivamente a los valores diurnos en la transición noche / día (amanecer). La concentración plasmática llega a valores máximos que oscilan entre 100-200 pg/ml y mínimos entre 10-30 pg/ml durante el día. La amplitud de la secreción está influenciada por:

- a) Edad: las diferencias entre valores diurnos y nocturnos disminuye con la edad;
- b) Luz: puede anular transitoriamente el pico de secreción si es aplicado durante la noche;
- c) Estación: el inicio de secreción se retrasa en invierno y se adelanta en verano;
- d) Drogas: los betabloqueantes y las benzodiacepinas disminuyen su pico (Cardinali & Sánchez Barceló, 1994) (Cardinal, 2002) (Cardinali, 2013b).

El inicio de la secreción de melatonina al atardecer (DLMO: Dim Light Melatonin Onset) se utiliza como marcador de fase del ritmo de melatonina y es el horario en cual los niveles plasmáticos alcanzan un 25% de su amplitud (Khalsa et al., 2003) (Vandewalle et al., 2007). La melatonina plasmática suele presentar un incremento de su secreción entre las 20:00 h y 22:00 h, con valores máximos entre las 01:00 h y 04:00 h, volviendo a los bajos valores entre las 08:00 h y 10:00 h (Terman et al., 2001). La hora circadiana 0 (HC: 0) corresponde al momento de temperatura central mínima, que suele ocurrir a las 04:00 h. En promedio, el DLMO de inicio (DLMO on) ocurre a las 21:00 h (Hora Circadiana 17); el DLMO de fin de secreción de

melatonina (DLMO off) ocurre aproximadamente 07:00 (Hora Circadiana 3). El punto medio (mediana) de secreción de melatonina ocurre habitualmente unas 2 horas antes de la hora circadiana 0, es decir a las 02:00 h. La exposición a sincronizadores ambientales a la hora circadiana 0 no genera ningún tipo de respuesta, en ese momento existe un rápido entrecruzamiento de las respuestas (Lewy et al., 1998) (Russell Foster & Kreitzman, 1999e) (Khalsa et al., 2003) (Pandi-Perumal et al., 2007).

Como se ha ido remarcando, las respuestas a la exposición a la luz difieren según la intensidad, duración, momento y composición espectral de la luz, en relación con el grado de supresión de melatonina. La exposición a la luz artificial durante la primera mitad de la noche inhibe la secreción de melatonina y genera un retraso de fase. Las respuestas suelen ser asimétricas, los sincronizadores ambientales tienen una mayor capacidad y rango de acción para retrasar los ritmos que para adelantarlos. Los períodos de mayor sensibilidad a la luz ocurren durante la noche, cerca de los períodos de transición luz y oscuridad (amanecer y atardecer), con una franja de sensibilidad efectiva de 12 horas: 19:00 h a 07:00 h, fuera de estos horarios existe refractariedad. La amplitud de las respuestas de avance y retraso a la luz es de aproximadamente unas 5 horas. El punto de mayor amplitud de respuesta (2,7 horas) para un retraso de fase ocurre a la hora circadiana 19,38 (23:23 horas). El punto de mayor amplitud de respuesta (2,3 horas) para un adelanto de fase ocurre a la hora circadiana 04,05 (08:03 horas). La zona de transición de respuestas durante el día es gradual y poco influyente, cerca de las 16:00 horas. La oscuridad que pueda instaurarse artificialmente durante el día no brinda ninguna señal sincronizadora para el NSQ, ya que durante el día hay refractariedad a sus efectos, por lo cual se evita que una siesta tomada durante el día pueda confundirse como una señal ambiental de noche (Cardinali, 1994b) (Lewy et al., 1998) (Russell Foster & Kreitzman, 1999e) (Dijk & Lockley, 2002) (Khalsa et al., 2003) (Ruger et al., 2005) (Pandi-Perumal et al., 2007) (Golombek & Rosenstein, 2010) (Cardinali, 2013b) (Auger et al., 2015).

La acción de la melatonina tiene un efecto inverso a la luz, genera un adelanto nuestro reloj interno si se administra durante la primera parte de la noche y un retraso si se administra durante la segunda parte. La administración de melatonina por la tarde, desde 12 horas antes de la HC:0 genera un adelanto de fase (16:00 a 04:00). La administración por la mañana, hasta 12 horas después de la HC:0 genera un retraso de fase (04:00 h a 16:00 h). La franja de horas en la cual hay sensibilidad efectiva es de 12 horas: 19:00 a 07:00, fuera de estos horarios existe cierta refractariedad a la melatonina. Los períodos de mayor sensibilidad a la melatonina ocurren durante el día, cerca de los períodos de transición luz y oscuridad (amanecer y atardecer). El uso de Melatonina antes de las 21:00 h brinda una señal de inicio de la noche más tempranamente, su uso se debe solapar con la secreción interna para adelantar el ritmo del sueño. El uso de melatonina al finalizar la noche también se solapa con el final de su producción y retrasa el inicio de DLMO más allá de las 21:00 horas (14 horas luego de DLMO off). La exposición lumínica suprime la producción endógena de melatonina, por lo que su exposición por la mañana además de adelantar la fase del ritmo directamente, indirectamente lo hace por supresión de producción de melatonina. Por el contrario, la exposición de luz por la tarde retrasa el inicio de sueño en forma directa retrasando la fase de ritmo, e indirecta a través de la inhibición de la secreción de melatonina (Dollins et al., 1994) (Lewy et al., 1998).

Las *curvas de respuesta de fase (PRC)* (Figura 4) describen la variabilidad de las respuestas del sistema circadiano y cómo un agente físico, químico o ambiental puede modificarlo, cuando se somete en forma de estímulo en diferentes horas del día. En el caso de la luz solar, los periodos de eficacia lumínica están en las transiciones de luz-oscuridad u oscuridad-luz (amanecer o atardecer). La exposición a la luz durante la primera parte de la noche retrasa la fase del ciclo y el mismo estímulo aplicado durante la segunda fase de la noche lo adelanta, mientras que durante gran parte del día la exposición a la luz no ejerce efectos sobre los ritmos circadianos. La exposición a la luz natural de cada mañana adelanta nuestro reloj casi una hora en promedio, sincronizando diariamente nuestro reloj interno, haciéndolo pasar de un ritmo cercano de 25 horas a uno de 24 horas (Russell Foster & Kreitzman, 1999e) (Sack, 2010).

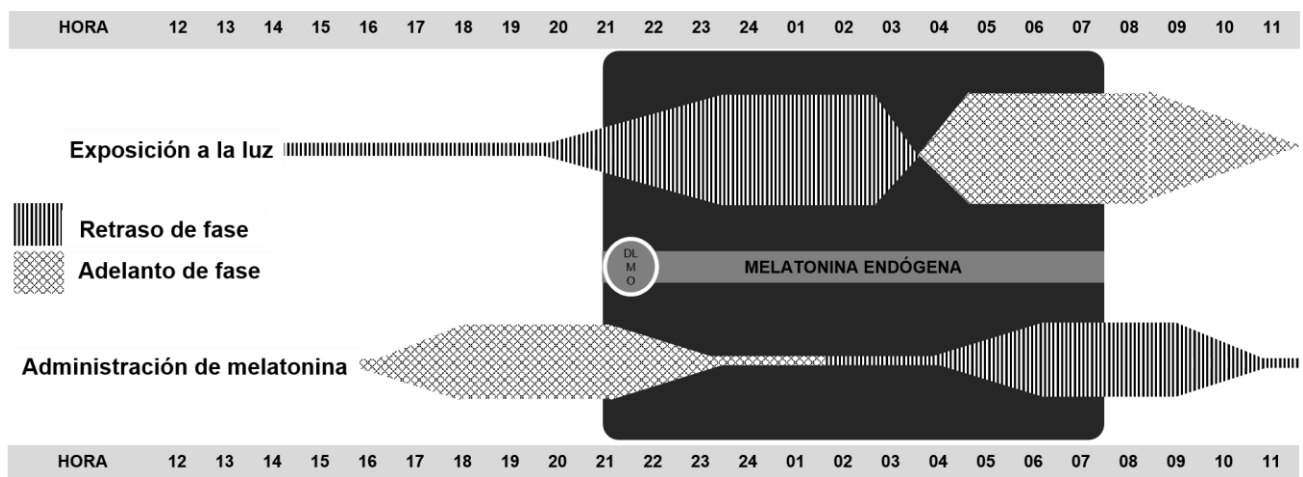


Figura 4. Curva de Respuesta de Fase de Luz y Melatonina. La exposición a la luz al atardecer retrasa los ritmos circadianos y por la mañana los adelanta. La Melatonina presenta una acción inversa, la administración de melatonina exógena antes de las 21 horas (DLMO) da una señal de que la noche ocurrió antes y adelanta los ritmos circadianos. La administración de melatonina exógena por la mañana da una señal de que la noche aún continúa y retrasa los ritmos. Según el momento del día que se realice la exposición al sincronizador, el ritmo puede ser no modificado, adelantado, retrasado. Extraído y modificado de (Russell Foster & Kreitzman, 1999e) (Sack, 2010).

El sueño como marcador de la fase del sistema circadiano está sesgado por la homeostasis del sueño, ya que los tiempos de sueño no están bajo el control exclusivo del sistema circadiano, sino que están fuertemente influenciados por aspectos homeostáticos (duración del sueño y de la vigilia) (Roenneberg et al., 2004) (Wittmann et al., 2006) (Roenneberg et al., 2019).

2.2.2.2. Siestas

La presión homeostática para dormir (proceso S), junto con un período natural de disminución de la alerta, generado por cambios rítmicos en la expresión del reloj biológico (proceso C), hace que aproximadamente ocho horas tras el despertar se produzca un aumento de la somnolencia y en algunas culturas se decida conciliar un sueño de corta duración (siesta). En adultos sanos y luego de una noche normal de descanso, la mayor propensión circadiana al sueño ocurre luego del mediodía, aproximadamente a las 14:00 horas. Un sueño de menos de 30 minutos (15 a 20 minutos) entre las 12:00 h y 18:00 h mejora el rendimiento y parece no afectar el descanso nocturno. Una siesta obtenida en la tarde temprana tiene una menor latencia de inicio y una mayor eficiencia, una siesta más tarde tendrá mayor superficialidad y menor poder de recuperación (Jurado Luque et al., 2016) (Mantua & Spencer, 2017) (Faraut et al., 2017). Una siesta de duración y momento adecuado puede mejorar nuestra calidad de vida, mejora el alerta y rendimiento luego de un sueño de noche normal y también puede ser utilizado como contramedida ante una privación crónica de sueño (Ruggiero & Redeker, 2014).

La arquitectura del sueño durante las siestas difiere si la noche previa hubo privación de sueño o un sueño normal, ya que el proceso S promueve el inicio del sueño NREM (Mantua & Spencer, 2017). Una siesta de 10 a 20 minutos de duración contiene sueño superficial y genera un beneficio en el nivel de alerta algún tiempo luego del despertar. Aunque en el momento de despertar y pasar del estado de sueño al de vigilia puede encontrarse un deterioro de rendimiento y desorientación transitoria llamada "*inercia de sueño*", un estado de confusión y somnolencia sufrido luego del despertar de un período de sueño (Tassi & Muzet, 2000) (Ruggiero & Redeker, 2014). La inercia de sueño es más severa al despertar y luego se disipa, tiene una duración aproximada de 30 minutos (15 a 60 minutos), puede contribuir a fallas y accidentes laborales. Las siestas de menos de 5 minutos o más de 30 minutos no tienen mayor beneficio y en algunos casos pueden tener consecuencias negativas. Siestas breves de 10 a 20 minutos pueden recuperar el funcionamiento cognitivo perdido luego de una vigilia prolongada de más de 16 horas y se asocian a periodos de inercia del sueño breves. Si la propensión al sueño es muy fuerte puede llegar a contener sueño N3, esto ocurre si hubo previamente una restricción de sueño o vigilia prolongada. Una siesta con N3 tiene un mayor beneficio en el nivel de alerta, pero ocurre más tardío y se sufre una mayor inercia luego del despertar en N3 (Tassi & Muzet, 2000) (Mantua & Spencer, 2017) (Faraut et al., 2017) (Hilditch et al., 2017) (Figueiro et al., 2019).

El hábito de siestas en las personas que se sufren de una privación crónica de sueño puede brindar la oportunidad de recuperar el sueño no logrado durante la noche, mejorando su funcionalidad durante el día. En quienes duermen menos de siete horas por noche, el hábito de siesta se correlaciona con una mejora en la supervivencia, reduciendo el incremento de la mortalidad general que se observa estadísticamente en las personas con sueño insuficiente (Mehra & Patel, 2012) (Nieto, 2015)(Jurado Luque et al., 2016).

2.2.2.3. Cronotipo

Según los hábitos de sueño y las preferencias en los horarios de sueño y actividad que tenga cada persona, se puede determinar *cronotipos*, fenotipo que expresa la organización temporal de un organismo. El cronotipo es un rasgo personal dinámico con base genética, influenciado por factores individuales, como la edad y el sexo, así como por varios factores ambientales, incluido el fotoperíodo al nacer, la altitud o latitud de residencia y la exposición a la luz solar. Determina la hora de mayor rendimiento y productividad, así como la hora preferida del día para estar activo o para dormir, en ausencia de obligaciones sociales (Cardinali, 1994b) (Roenneberg et al., 2003) (Adan et al., 2012).

Las pequeñas diferencias entre los individuos en la capacidad de sincronización con los estímulos ambientales determinan los cronotipos (Roenneberg et al., 2003). Algunos relojes biológicos generan períodos internos un poco más cortos que 24 horas (cronotipo temprano o "alondras") y otros generan períodos internos un poco más largos que 24 horas (cronotipo tardío o "búhos"). Si bien el reloj social (hora local) es el mismo para todos, el reloj biológico (tiempo interno) puede ser distinto entre individuos, lo que se traduce en posibles diferencias en las oscilaciones del rendimiento cognitivo, el estado de ánimo y el inicio del sueño (Roenneberg et al., 2019). Entendiendo también que la variabilidad de los patrones de sueño entre los individuos podría reflejar no solo diferencias individuales en la necesidad biológica de sueño, sino también diferencias en las demandas sociales o profesionales para permanecer despierto (Van Dongen et al., 2005).

Las personas orientadas a la mañana (25% de la población), se duermen y levantan temprano, alcanzan su máximo rendimiento cognitivo durante las primeras horas de la mañana, sintiéndose cansados por la tarde y tienen dificultad en la realización de trabajos de turno noche. Las personas orientadas a la noche tienen un ritmo circadiano prolongado (25% de la población), se acuestan en las primeras horas de la mañana y se levantan cerca del mediodía, funcionan mejor al anochecer y tienen una mayor tolerancia al trabajo por turnos. La mayoría de la población se encuentra en un lugar intermedio entre ambos grupos; el 50% mantienen un cronotipo de tipo Intermedio (Cardinali, 1994b) (Roenneberg et al., 2003) (Adan et al., 2012).

El sistema circadiano del cronotipo matutino tiene una fase más adelantada en comparación al vespertino, la acrofase de melatonina ocurre dos a tres horas antes, pero sin diferencias en su amplitud (Adan et al., 2012). Los cronotipos tardíos suelen retrasar una a dos horas el inicio de sueño durante los días laborales por obligaciones sociales y el uso de un despertador impide completar el sueño; acumulando una considerable deuda de sueño. En cambio, durante los días libres, el sueño está libre de imposiciones externas, lo que resulta en un sueño más tardío y más prolongado, buscando compensar la deuda de sueño acumulada durante la semana laboral (Roenneberg et al., 2003) (Roenneberg et al., 2019). Esta diferencia de sueño entre días laborales y de descanso se denomina "*Jet Lag Social*" y está asociado con el *síndrome de sueño insuficiente*, una mayor somnolencia y desatención durante el día, que puede afectar el desempeño escolar y la salud (Roenneberg et al., 2003) (Adan et al., 2012). La restricción de sueño se asocia con una mayor somnolencia y desatención durante el día, que puede afectar el desempeño laboral (Mary Carskadon et al., 1999) (Fallone et al., 2001) (M Carskadon et al., 2001).

2.2.3. Ritmo de temperatura corporal periférica

El hipotálamo regula la temperatura corporal a través de un control homeostático reactivo y predictivo. La termorregulación es la capacidad que tiene el organismo para regular su temperatura, depende del VLPO y del NSQ. El VLPO regula los mecanismos reactivos, para mantener la temperatura dentro de un rango limitado, en respuesta a las condiciones fisiológicas y ambientales. El NSQ regulan el ritmo circadiano de la temperatura corporal. El control de la temperatura central en los humanos es muy preciso, con un rango de variación circadiana pico a valle de $\pm 0,6$ a 1°C , alrededor de los 37°C ($36,5$ y $37,2^{\circ}\text{C}$). Este ritmo circadiano tiene valores mínimos entorno a las 04:00 h y valores máximos en torno a las 20:00 h. Los órganos vitales, cerebro, corazón, sistema digestivo y renal, funcionan de forma óptima a una temperatura corporal central de 37°C , variable según sexo, actividad física, consumo de alimentos y líquidos, hora del día y fase del ciclo menstrual (Daniel Cardinali, 1994b) (Russell Foster & Kreitzman, 1999d) (Russell Foster & Kreitzman, 1999a) (Cardinali, 2002) (Murer & Pazo, 2002) (Wright et al., 2002) (D Cardinali, 2013b) (Puertas Cuesta et al., 2015). El ritmo circadiano de la temperatura corporal se encuentra sincronizado con ciclo de sueño y vigilia, aunque presenta un ritmo independiente, fue estimado en 24,8 horas. En un laboratorio, bajo oscuridad y condiciones ambientales constantes y ausencia de oscilaciones externas, la temperatura muestra valores elevados en la vigilia y menores durante el sueño (Aschoff et al., 1967).

La temperatura central se genera con la producción metabólica de calor y se incrementa durante la mañana, cuando la producción supera a las pérdidas, disminuyendo durante la noche, cuando las pérdidas superan a la producción. Bajo condiciones de reposo, el calor del cuerpo es generado por el metabolismo basal, pero bajo condiciones de actividad esto puede cambiar e incrementar por el rol del musculo esquelético. El ejercicio físico y la dieta pueden generar cambios circadianos sin modificar la actividad del NSQ (enmascaramiento). La pérdida de calor corporal generalmente ocurre a través de cambios en el flujo sanguíneo, cuando se redistribuye el calor desde el centro hacia la piel (Kräuchi et al., 2014). Los termorreceptores en la piel detectan la temperatura del ambiente y transmiten la información sensorial al hipotálamo, que intermedia los mecanismos correctivos. Los mecanismos homeostáticos y circadianos regulan la velocidad con la que se pierde y gana calor, los mecanismos más importantes de pérdida de calor son la sudoración, transpiración y vasodilatación; los de ganancia de calor son la vasoconstricción, piloerección, incremento del metabolismo basal y espasmos musculares (Russell Foster & Kreitzman, 1999c) (Wright et al., 2002) (D Cardinali, 2013b) (Puertas Cuesta et al., 2015).

La termoregulación transcurre durante la vigilia y el sueño No REM, desempeñando un papel clave en el inicio del sueño. La tendencia a iniciar el sueño ocurre cuando la temperatura central disminuye al anochecer, entre 4 a 6 horas antes del nadir de temperatura corporal central; mientras que el sueño finaliza cuando aumenta la temperatura central. El sueño además acentúa aún más la disminución de temperatura y pérdida de calor. La vasodilatación periférica persiste en el sueño y se consolida durante el sueño profundo. Las respuestas del cuerpo a las variaciones térmicas del ambiente se reducen durante el sueño REM, donde existe una desconexión transitoria de los mecanismos de termorregulación (poiquilothermia REM), con incrementos del tono simpático y vasoconstricción periférica, incrementos de la temperatura central y fluctuaciones de la misma, que revierten los descensos de temperatura del sueño profundo; la temperatura

central tiene a adaptarse a la del ambiente preparando al cuerpo para la vigilia (Murer & Pazo, 2002) (D Cardinali, 2013b) (Puertas Cuesta et al., 2015) (Szymusiak, 2018) (Harding et al., 2019).

Como ocurre con la temperatura central, la temperatura periférica de la piel también posee un ritmo circadiano, asociado al ritmo de sueño y vigilia. La disminución de la temperatura central al inicio del sueño se logra a través de una reducción del tono simpático y de la vasodilatación periférica, de la que participan anastomosis arteriovenosas (arteriolas y vénulas), que actúan como reguladoras del flujo sanguíneo, presentes en las regiones distales de piel (manos y pies) y ausentes en las regiones proximales (tronco), las cuales pueden dilatarse para incrementar la pérdida de calor. Estas variaciones circadianas en el flujo sanguíneo de la piel son las que generan cambios de la temperatura en reposo, siendo la pérdida de calor nocturno la de mayor relevancia para generar la variación circadiana. En el caso de las mujeres, el ciclo menstrual genera además una modulación cíclica de 28 días de la temperatura central con una amplitud aproximada de 0,2°C, con una mayor producción de calor y menor amplitud durante la fase lútea (Kräuchi et al., 2004) (Kräuchi et al., 2012) (Kräuchi et al., 2014) (Szymusiak, 2018) (Harding et al., 2019).

La vasodilatación periférica en manos y pies comienza dos horas previas al inicio del sueño y contribuye a la disminución circadiana de la temperatura central, mediante la redistribución del calor desde el centro hacia la periferia. En ese momento, el “gradiente de temperatura de piel distal a proximal” tiene su valor máximo (1,5°C); luego, con el inicio del sueño y el descenso de la temperatura central, este gradiente se reduce a 0,5°C. La manipulación del gradiente de temperatura de piel distal - proximal puede cambiar la propensión al sueño, un mayor gradiente con aumento de la vasodilatación y temperatura distal puede acortar la latencia de inicio de sueño, mejorar su consolidación y eficiencia. Pequeños cambios de temperatura de la piel de 0,4°C pueden acortar la latencia de inicio de sueño sin cambiar significativamente la temperatura central (Kräuchi et al., 2004) (Szymusiak, 2018) (Harding et al., 2019). En este sentido, una mayor propensión al inicio del sueño se asocia con un incremento del flujo sanguíneo de la piel y de la temperatura cutánea, relacionado al aumento de la pérdida de calor y reducción de la temperatura corporal central (Matsui et al., 2016). En un rango fisiológico, el aumento de la temperatura de la piel también se ha relacionado con una mayor somnolencia, una temperatura de la piel más baja mejora el nivel de alerta y la vigilia (Te Lindert & Van Someren, 2018).

Durante el sueño hay una menor vasoconstricción en respuesta al frío y la temperatura central cae a un valor aproximado de 36°C, esta respuesta se recupera luego del despertar y es máxima durante el día. El ritmo de temperatura puede sufrir cambios por el comportamiento y la temperatura del ambiente, los niveles de actividad, los estados de sueño-vigilia, la exposición a la luz y la ingesta de alimentos (Matsui et al., 2016) (Te Lindert & Van Someren, 2018). El flujo sanguíneo y la temperatura de la piel también sufren una importante influencia de muchos factores, como la temperatura ambiental, el ejercicio, la vestimenta y la posición corporal (Kräuchi et al., 2012). En condiciones de laboratorio controladas y constantes, durante la vigilia, la temperatura distal de la piel (manos y pies) muestra valores bajos durante el día y elevados por la noche; mientras que la temperatura de la piel proximal (tronco) tiene una amplitud menor y varía en coincidencia con la fase de la temperatura central, alta durante el día y baja durante la noche. El ritmo diurno en la temperatura de la piel no depende solo de la termorregulación autonómica, sino que está fuertemente influenciado por las actividades motoras (Matsui et al., 2016) (Te Lindert & Van Someren, 2018).

Los ritmos circadianos de la secreción de melatonina y de la temperatura experimentan cambios paralelos. La melatonina secretada durante la noche contribuye a desarrollar la amplitud del ritmo de temperatura central, tanto por un efecto sobre receptores del hipotálamo anterior como de receptores sobre los vasos periféricos. El inicio de su secreción contribuye a la disminución nocturna de la temperatura central de la noche y está acompañado por un aumento de la somnolencia. La administración de melatonina induce somnolencia y una disminución de la temperatura central (Kräuchi et al., 1997) (Matsui et al., 2016) (Te Lindert & Van Someren, 2018).

Un método no invasivo para estimar el ritmo circadiano de la temperatura, es medir la temperatura de la piel, cuyo ritmo está correlacionado con el ritmo de la temperatura central. Se puede utilizar como marcador de fase al tiempo de la temperatura máxima (acrofase) para las mediciones de temperatura distal (manos y pies) y el valle o tiempo de la temperatura mínima (batifase) para la temperatura de piel proximal (tórax), que se ubica levemente antes del mínimo valor de temperatura central (Cuesta et al., 2017). La temperatura proximal de la piel puede evaluarse como un promedio de la temperatura de sensores ubicados en el esternón y en los espacios subclaviculares. La temperatura de la piel distal puede evaluarse mediante el promedio de los valores obtenidos en registros de sensores en tobillo y muñeca, utilizándose en ocasiones el registro de un único sensor ubicado en la muñeca no dominante (Sarabia et al., 2008) (Kräuchi et al., 2012).

2.2.4. Regulación autonómica del ritmo sinusal

El *sistema nervioso autónomo* (SNA) está constituido por un conjunto de neuronas y vías nerviosas que controlan el funcionamiento de los aparatos y sistemas del organismo, con el objetivo de mantener un equilibrio fisiológico bajo el control de los procesos no voluntarios de nuestro organismo (Cardinali & Sánchez Barceló, 1994) (Russell Foster & Kreitzman, 1999c) (Guyton & Hall, 2011) (Cardinali, 2013a). El componente simpático del SNA interviene ante situaciones de estrés y desarrolla respuestas metabólicas de tipo catabólico, mientras que el componente parasimpático tiene respuestas de tipo anabólico y participa de situaciones de restauración como el sueño profundo. La mayoría de los órganos poseen una inervación por ambos sistemas, manteniendo un equilibrio que puede modificarse según las necesidades del medio. Situaciones que pongan en riesgo al individuo desencadenan una situación de estrés, generan un estado de hipervigilancia que afecta al SNA y la conducta, el nivel de actividad y ciclo de sueño-vigilia. En respuesta, el SNA realiza cambios inmediatos y tardíos que intentan asegurar una perfusión sanguínea adecuada en los órganos vitales para la supervivencia, como el cerebro, corazón, músculo y pulmón. La respuesta inmediata es una descarga simpática y una inhibición parasimpática, con incremento del estado de alerta, de la frecuencia cardíaca y tensión arterial, broncodilatación, hiperglucemia, aumento del flujo sanguíneo a los músculos esqueléticos y vasoconstricción cutánea. Cuando la intensidad o tiempo de exposición al estrés persiste y se prolonga en el tiempo, se establece un estado patológico de distrés, una hiperactividad simpática y activación del eje hipofisario-suprarrenal, con efectos patológicos sobre los sistemas cardiovasculares y metabólicos, las personas bajo un estrés crónico no logran controlar adecuadamente esta mayor demanda física e intelectual presentan una mayor tendencia a la enfermedad cardiovascular, un deterioro físico y cognitivo. El miedo, dolor, calor y frío generan un estrés físico, que puede asociarse con aumento de la frecuencia cardíaca y tensión arterial y ciertas enfermedades, como los trastornos del sueño (Smolensky & D'Alonzo, 1993) (Cardinali & Sánchez Barceló, 1994) (Farrace et al., 1999) (Walters et al., 2003) (Golombek, 2007) (Guyton & Hall, 2011) (Cardinali, 2013a) (Cardinali, 2013b).

Además de la respuesta reactiva a factores estresantes, el SNA presenta un ritmo de actividad “predictivo” que comprende los mecanismos anticipatorios que preceden a un fenómeno ambiental predecible temporalmente y que facilitan una mejor adaptación fisiológica ante ellos. Por ejemplo, antes del despertar las concentraciones de cortisol aumentan anticipando los cambios en el grado de alerta y la postura propios de la vigilia. El momento de las comidas habituales es precedido por una secreción gastrointestinal aumentada que anticipa las modificaciones del contenido del tubo digestivo que se producirán durante la ingesta (Vandewalle et al., 2007) (Lanfranchi et al., 2009) (Cardinali, 2013a). Esta variación también determina distinta susceptibilidad a ciertas patologías en determinados momentos del día. Son más frecuentes los eventos cardiovasculares al final de la noche y principios del día, cuando aumenta la actividad simpática, mientras que las crisis asmáticas son más frecuentes durante la noche, al incrementarse el tono parasimpático (Smolensky & D'Alonzo, 1993) (Farrace et al., 1999) (Walters et al., 2003) (Golombek, 2007).

El ritmo cardíaco está determinado por la actividad del marcapasos cardíaco que se encuentra en el nódulo sinusal, que tiene una frecuencia intrínseca de 100 a 120 latidos por minuto, en ausencia de influencia neurohumoral. La frecuencia real experimenta una regulación procedente del equilibrio simpático-vagal, un efecto combinado de una influencia simpática que lo acelera y una influencia parasimpática que lo retarda y

predomina sobre la primera. Los sistemas de control autonómicos mantienen la homeostasis cardiovascular ante estas pequeñas perturbaciones, captadas a través de barorreceptores y quimiorreceptores arteriales, como se generan ante cambios posturales y durante los cambios de presión torácica durante la respiración. La actividad simpática elevada y persistente en el tiempo contribuiría a una menor supervivencia, mientras que el tono vagal elevado proporciona una protección cardíaca. El control circadiano sobre el ritmo cardíaco esta mediado a través de las proyecciones desde el NSQ y la subdivisión autonómica del núcleo paraventricular del hipotálamo. Alternativamente, la ritmicidad circadiana se puede generar a nivel local en el corazón, ya que los tejidos cardiovasculares contienen relojes circadianos independientes (Vandewalle et al., 2007) (Vandewalle et al., 2007) (Lanfranchi et al., 2009) (Cardinali, 2013a) (Robles Cabrera et al., 2014).

Debido al control autonómico descripto, las variables cardiovasculares como la frecuencia cardíaca (FC), la tensión arterial (TA) y el volumen minuto fluctúan latido a latido (R-R). El control autonómico sobre el ritmo cardíaco puede evaluarse de forma confiable y no invasiva mediante el análisis de las fluctuaciones en el tiempo de la frecuencia cardíaca latido a latido (intervalos R-R), que determina la "*variabilidad de la frecuencia cardíaca*" (VFC). La VFC permite cuantificar la influencia diferenciada de la inervación simpática y parasimpática sobre la modulación cardíaca (Welch, 1967) (Akselrod et al., 1981) (Harinath et al., 2005) (Daniel Eduardo Vigo, 2007) (Lanfranchi et al., 2009) (Cardinali, 2013a) (D. Vigo et al., 2019).

Por lo tanto, la VFC se determina mediante variación en la duración de los intervalos consecutivos de dos ondas R-R entre dos complejos QRS del electrocardiograma (ECG) (*Figura 5*), (American Heart Association, 1996) (Daniel Eduardo Vigo, 2007) (Vandewalle et al., 2007) (Lanfranchi et al., 2009) (Daniel E Vigo et al., 2012) (Cardinali, 2013a) (Maggioni et al., 2020).

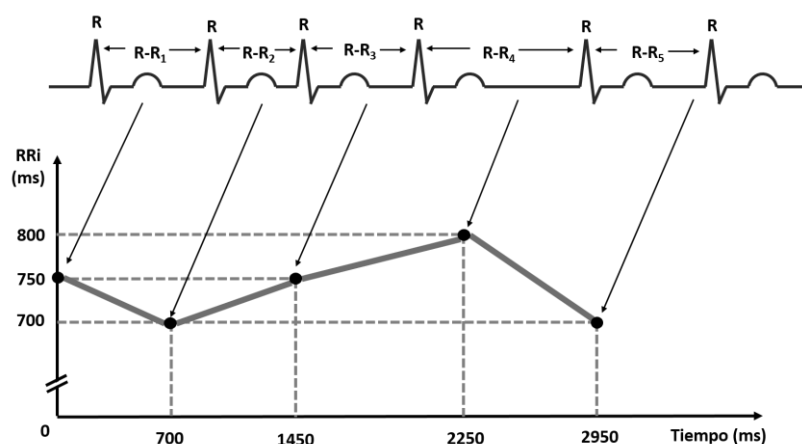


Figura 5. Variación del intervalo de tiempo R-R de la frecuencia cardíaca.

La VFC cuantifica el equilibrio simpato-parasimpático mediante índices calculados en el "*dominio del tiempo*" y en el "*dominio de la frecuencia*". El análisis cuantitativo de las medidas de variación de la frecuencia cardíaca en función del tiempo (dominio del tiempo) evalúa estadísticamente la dispersión de los intervalos R-R y de las diferencias entre intervalos R-R consecutivos, alrededor de sus respectivos valores medios: 1) **RRm** (duración media de los intervalos RR en ms), cuantifica la frecuencia cardíaca media; 2) **SDNN** (desviación estándar de los intervalos RR en ms), cuantifica la variabilidad general de la frecuencia cardíaca;

3) **RMSSD** (raíz cuadrada de la media de la suma de los cuadrados de las diferencias sucesivas de los intervalos RR), representan los componentes rápidos de alta frecuencia y mide las variaciones de la frecuencia cardíaca en el corto plazo. La representación gráfica de la duración de los distintos intervalos R-R a lo largo del tiempo conforma el “*cardiotacograma*” (*Figura 6*), (American Heart Association, 1996) (Harinath et al., 2005) (Daniel Eduardo Vigo, 2007) (Vandewalle et al., 2007) (Daniel E Vigo et al., 2012) (Xu et al., 2013) (D. Vigo et al., 2019) (Maggioni et al., 2020).

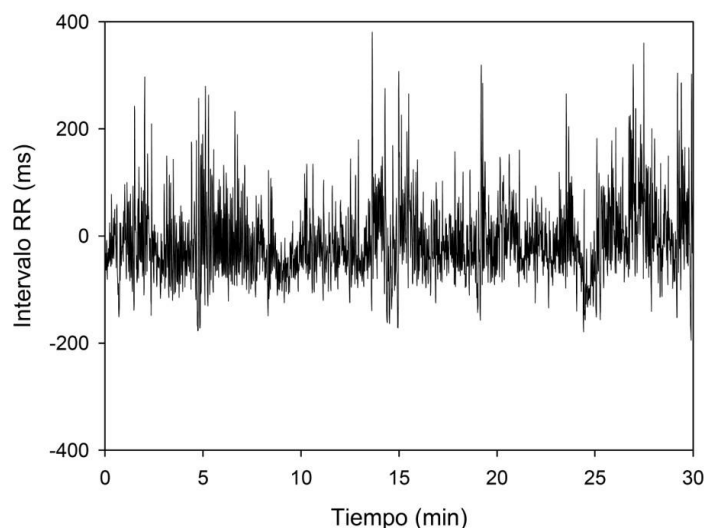


Figura 6. Cardiotacograma típico de un sujeto joven sano (Daniel Eduardo Vigo, 2007).

El análisis cuantitativo de las medidas de variación de la frecuencia cardíaca en función de la frecuencia de variación (dominio de la frecuencia) se realiza a través del análisis del “espectro de potencias”, construido a partir de técnicas matemáticas como la “Transformada de Fourier” o la “Transformada Wavelet”, que permite obtener una medida promedio de la amplitud de las oscilaciones de las distintas frecuencias que constituyen la señal de VFC. El espectro de potencias es una medida de la amplitud de las variaciones de la frecuencia cardíaca en función de la frecuencia o periodo de variación. El análisis de dicho espectro permite entonces obtener información sobre la amplitud de los cambios de la frecuencia cardíaca en las siguientes bandas de frecuencia de variación de dicha frecuencia: 1) **HF**, banda de alta frecuencia de variación (0,15 - 0,4 Hz), dependiente del ritmo respiratorio, se relaciona con la arritmia sinusal respiratoria² y es reflejo de la modulación parasimpática; 2) **LF**, baja frecuencia (0,04 - 0,15 Hz), variaciones de la presión arterial, se relaciona con el barorreflejo y refleja estímulos simpáticos y parasimpáticos; 3) **VLF**, muy baja frecuencia (<0,04 Hz), dependiente de mecanismos regulatorios de largo plazo, como los humorales y las variaciones de la temperatura corporal; 4) **relación entre LF y HF (LF/HF)**, indicador de la modulación simpática. Estos índices son marcadores del balance dinámico entre la actividad simpática y parasimpática. Su registro gráfico constituye el espectro de potencias y permite diferenciar áreas de las diferentes frecuencias (*Figura 7*).

² Arritmia sinusal respiratoria: variación de la frecuencia del nodo sinusal durante el ciclo respiratorio, observando un enlentecimiento fisiológico de la frecuencia cardíaca durante la inspiración, debido a un incremento de la actividad parasimpática del núcleo ambiguo del bulbo raquídeo y un aceleramiento fisiológico de la frecuencia cardíaca durante la expiración debido a la ausencia del estímulo parasimpático.

(Welch, 1967) (Akselrod et al., 1981) (American Heart Association, 1996) (Harinath et al., 2005) (Daniel Eduardo Vigo, 2007) (Vandewalle et al., 2007) (Lanfranchi et al., 2009) (Daniel E Vigo et al., 2012) (Cardinali, 2013a) (Xu et al., 2013) (D. Vigo et al., 2019) (Maggioni et al., 2020).

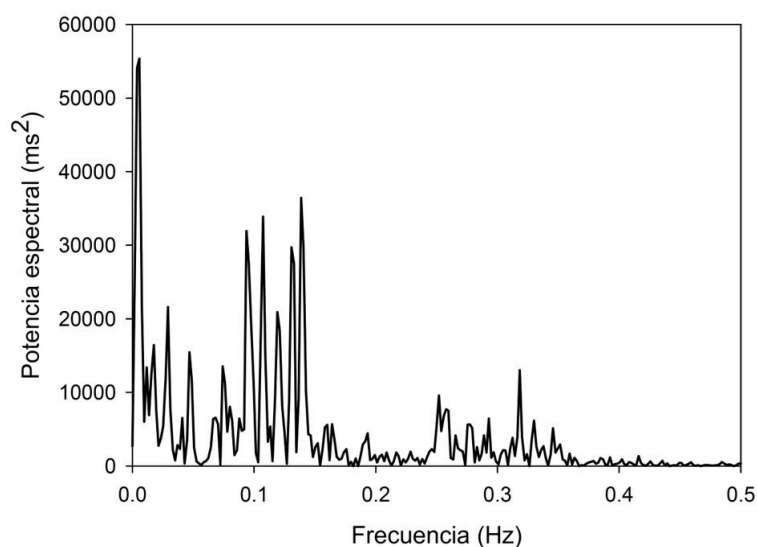


Figura 7. Espectro de potencias correspondiente al tacograma de la Figura 5. Se observan picos de amplitud alrededor de 0.15 Hz (LF) y 0.3 Hz (HF) (Daniel Eduardo Vigo, 2007).

A partir de la serie temporal de intervalos RR se pueden obtener tacogramas compuestos por oscilaciones de alta, baja y muy baja frecuencia, cuya variabilidad puede ser analizada en forma independiente. Este análisis permite estudiar en forma discriminada los mecanismos fisiológicos subyacentes a la VFC (Figura 8).

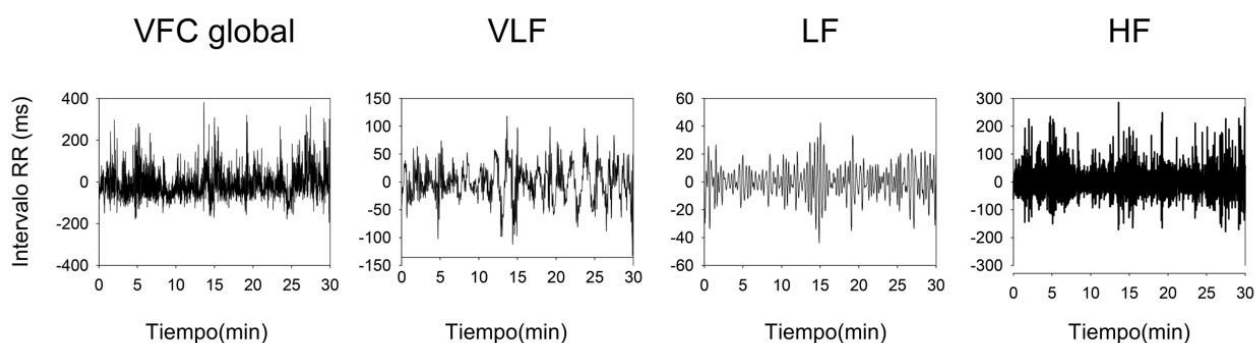


Figura 8. Tacogramas correspondientes a las oscilaciones de distintas frecuencias presentes en el tacograma de la Fig 5 (Daniel Eduardo Vigo, 2007).

El análisis de la VFC en componentes independientes evalúa los distintos procesos fisiológicos subyacentes. Por lo tanto, se acepta que la amplitud de las variaciones de frecuencia cardíaca de corto plazo o de alta frecuencia de variación (RMSSD y HF) representa a la influencia de la actividad parasimpática en la regulación de la FC y se relaciona con la arritmia sinusal respiratoria. La amplitud de las variaciones de frecuencia cardíaca de periodos mayores o de baja frecuencia de variación (LF) es una medida de la actividad autonómica influenciada tanto por la actividad parasimpática como simpática, sobre todo en posición supina y se relaciona con el control barorreflejo. El componente de muy baja frecuencia, es de

origen incierto y se piensa que está regulado mayormente por influencias parasimpáticas. La relación entre LF y HF (LF/HF) indica la influencia de la actividad simpática. El predominio de la modulación simpática en vigilia se manifiesta con diferencias de la VFC sueño – vigilia, normalmente positivas en los componentes SDNN, LF y HF; negativas en el componente LF/HF, así como diferencias generalmente positivas en la variabilidad global. (Harinath et al., 2005) (Vandewalle et al., 2007) (Daniel Eduardo Vigo, 2007) (Daniel E Vigo et al., 2012) (Xu et al., 2013) (D. Vigo et al., 2019) (Maggioni et al., 2020).

Las modulaciones autonómicas sobre el ritmo del nódulo sinusal son influenciadas por el sistema circadiano. El análisis de la VFC resulta una herramienta útil para explorar equilibrio simpático-parasimpático de forma continua durante el ciclo sueño-vigilia. En condiciones normales de vigilia durante el día y sueño durante la noche, la FC suele alcanzar su punto máximo durante la vigilia y la VFC es baja durante el día con picos en la banda de LF. Durante el sueño nocturno, oscila en sincronía con el ciclo de sueño NoREM-REM. La actividad parasimpática predomina durante el sueño lento, con fuerte descenso de la frecuencia cardiaca desapareciendo el componente LF de la VFC y persistiendo el componente HF. Esta actividad parasimpática es máxima alrededor de las 05:00 h, según los indicadores de HF (05:00 h) y RMSSD (05:16 h). Mientras que los valores máximos en la VFC global se alcanzan alrededor de las 06:30 h, según los indicadores de LF (06:15 h) y SDNN (06:59 h). En sueño REM la frecuencia cardiaca es variable y desaparece el componente parasimpático HF (Vandewalle et al., 2007) (Cardinali, 2013c) (Puertas Cuesta et al., 2015).

2.2.5. Ritmo del nivel de alerta

El rendimiento cognitivo no es uniforme a lo largo del día, ciertos factores importantes relacionados con el sueño afectan el mismo: a) impulso homeostático, determinado por la cantidad de horas consecutivas que se permanece despierto; b) cantidad de sueño, se requieren aproximadamente 7 a 9 horas de sueño por noche para un nivel de alerta estable y adecuando funcionamiento cognitivo durante el día; c) inercia del Sueño, somnolencia que se experimenta cuando se despierta, las tareas cognitivas complejas se demoran entre 5 a 20 minutos para obtener un buen funcionamiento y alcanza su máxima eficiencia transcurridas unas horas; d) marcapasos circadiano, ayuda a permanecer despierto durante el día y consolidar el sueño continuo a largo de la noche (Czeisler, 2006). La variación diurna en el rendimiento se puede interpretar también bajo el sistema de dos procesos, una combinación de un proceso homeostático del sueño dependiente de la vigilia, donde el aumento del tiempo de vigilia conduce a una disminución del nivel de la alerta e incremento de la somnolencia; acompañado de un proceso circadiano, donde la variación del rendimiento está relacionada con una función independiente a las horas de sueño (Blatter & Cajochen, 2007).

Resulta demasiado simplista vincular la eficiencia cognitiva solo con el estado fisiológico de alerta, en base a los procesos circadianos y homeostático. La eficiencia cognitiva no está determinada únicamente por los sistemas de activación reguladora subyacentes, sino que está modulada por mecanismos compensatorios, como los factores motivacionales o la expectativa debido a la experiencia. Es posible concluir que, en condiciones normales de sueño, las tareas que requieren una alta carga operativa podrían implicar un compromiso cognitivo y motivacional que puede compensar la disminución de la eficiencia inducida por la falta de sueño. El sistema de vigilia tiene un componente de alerta tónica (adaptación lenta) y fásica (adaptación rápida a cambios transitorios). Hay tres funciones principales para los mecanismos de la vigilia: alerta, orientación y control ejecutivo. El sistema de alerta permite aumentar y mantener la vigilancia para preparar mejor al organismo para la detección de estímulos venideros (atención fásica). El sistema de orientación selecciona información específica de una serie de estímulos potencialmente relevantes para su funcionamiento. El sistema ejecutivo de la vigilia media la planificación, toma de decisiones, detección de errores, resolución de conflictos y el control inhibitorio. El componente de orientación no se modifica durante el transcurso de la vigilia, mientras que el control ejecutivo si disminuye (Adan et al., 2012).

Cada tipo de actividad cognitiva posee también un ritmo propio y determinada acrofase, es decir, el momento de máximo rendimiento para una determinada actividad. Las actividades que implican velocidad de reacción, detección de una señal o cálculos matemáticos simples tienden a un máximo nivel en las últimas horas de la tarde; las actividades que requieren un máximo nivel cognitivo tienen un máximo nivel por la mañana. La resolución de problemas involucra tareas de creatividad y no presentan una hora óptima de beneficio. La desincronización circadiana y la fatiga por jornadas laborales muy extensas generan una baja en el rendimiento. En una planta operacional de trabajo por turnos, la velocidad de una tarea disminuye durante el turno noche, así como la probabilidad de cometer errores. Las tareas más afectadas son aquellas que impliquen una capacidad cognitiva, atención, memoria y toma de decisiones; las actividades físicas o de fuerza muscular son menos afectadas (Cardinali, 1994a) (Cardinali, 1994b) (Härmä et al., 1998) (Russell Foster & Wulff, 2005) (Golombek, 2007) (Aguirre, 2015) (Olson et al., 2016) (Jurado Luque et al., 2016).

Existe una relación entre los ritmos diarios de la temperatura corporal, el rendimiento cognitivo y el estado de alerta. Durante una privación total del sueño, el aumento del impulso homeostático del sueño genera un deterioro del rendimiento. Pero bajo condiciones constantes, la temperatura corporal y los niveles de rendimiento cognitivo también exhiben un patrón circadiano, con niveles más altos durante el día (vigilia habitual) y niveles más bajos durante la noche (sueño habitual), acentuados cerca del mínimo valor de la temperatura central (Wright et al., 2002). El aumento o disminución de la temperatura corporal extrema también genera una caída en el rendimiento. Habría una zona térmica óptima para el funcionamiento humano, y dentro de esta franja, una temperatura corporal más alta se asociará con un mayor rendimiento, en comparación con valores más bajos (Giesbrecht et al., 1993). En estudios controlados bajo la manipulación de la temperatura corporal por medios externos (alterando la temperatura ambiental o inmersión en agua), han informado que la función cognitiva mejora al aumentar la temperatura corporal ligeramente por encima del valor normal $\pm 37^{\circ}\text{C}$; la función cognitiva disminuye al disminuir la temperatura corporal por debajo de ese valor (Wright et al., 2002). Si bien cada función cerebral puede tener diferentes zonas de sensibilidad térmica, dentro del rango fisiológico normal, una temperatura corporal central más alta representa una mayor activación fisiológica, lo que se asocia con un mejor rendimiento y estado de alerta. Independientemente de la fase circadiana u horas de vigilia, un aumento en la temperatura corporal central de $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ se asocia con un rendimiento más alto, lo que sugiere que pequeños cambios en la temperatura corporal central pueden influir en el rendimiento humano (Wright et al., 2002).

La desincronización circadiana también puede perjudicar el rendimiento, al ejecutar una actividad cognitiva fuera de su rango de mayor rendimiento (Wright et al., 2002). El trabajo durante las primeras horas de la mañana suele ir acompañado de niveles reducidos de alerta y rendimiento. En general, entre las 02:00 y las 06:00 horas, el rendimiento y el estado de alerta se encuentran en sus niveles más bajos, lo que resulta en una eficiencia laboral deficiente y un mayor riesgo de accidentes. Diversas intervenciones farmacológicas (melatonina, cafeína, modafinilo), la exposición a la luz brillante, y el uso estratégico de siestas influyen en el rendimiento cognitivo. La cafeína mejora el estado de alerta y el rendimiento al bloquear el neuromodulador adenosina en el sistema nervioso. La administración de melatonina disminuye la temperatura corporal, aumenta la propensión y la duración del sueño, pero su uso durante el día reduce el rendimiento, la velocidad de reacción y el estado de alerta. La luz brillante mejora el estado de alerta nocturno y el rendimiento, al reducir la secreción de melatonina y aumentar la temperatura corporal central (Dollins et al., 1994) (Wright, Badia, Myers, & Plenzler, 1997) (N. Rogers et al., 1998). Se requieren intensidades mayores a 2.500 lux³ por la noche para lograr modificaciones relevantes en el nivel de la alerta (la luz solar de mediodía en verano equivale a 100.000 lux). A mayor intensidad lumínica mayor nivel de alerta, aunque la mitad de la alerta experimentada con la exposición a 10.000 lux, se obtiene con solo 100 lux. Esta sensibilidad a la luz indica que las variaciones en la iluminancia dentro del rango de luz ambiental típica de una habitación (100 a 200 lux) pueden tener un impacto en el estado de alerta durante la noche biológica (Lewy et al., 1998) (Russell Foster & Kreitzman, 1999e) (Cajochen et al., 2000) (Wright et al., 2001) (Lockley et al., 2003) (Khalsa et al., 2003) (Cajochen et al., 2005) (Pandi-Perumal et al., 2007) (Grote et al., 2013) (Najjar et al., 2014).

³ El flujo luminoso de una fuente se mide en LUMEN (lm) y el nivel de iluminación de una fuente de luz sobre un ambiente en LUX (lx), 1 LUX equivale a 1 LUMEN por metro cuadrado ($\text{Lx}=\text{Lm}/\text{m}^2$).

2.3. Cronodisrupción

Bajo este término, agruparemos los trastornos del sueño derivados de una falta de sincronización de nuestros ritmos fisiológicos con los estímulos ambientales (trastornos circadianos del sueño), el derivado de la obtención de menos sueño del deseado por aumento de las actividades realizadas durante la vigilia (síndrome de sueño insuficiente) y el derivado de la falta de exposición a la luz natural por la disminución de las horas de luz solar durante el invierno (síndrome afectivo estacional). También describiremos, en particular, las consecuencias de estos trastornos en relación a la presencia de somnolencia y fatiga⁴.

2.3.1. Trastornos del sueño por alteración del ritmo circadiano

La vida en el planeta Tierra está controlada por tres marcadores de tiempo o "relojes": 1) *Reloj Solar*: Período de luz y oscuridad generado por la rotación del planeta alrededor de su propio eje (23 horas, 56 minutos). 2) *Reloj Biológico*: Sistema circadiano, organización temporal interna que controla dinámicamente todos los niveles de la fisiología, adaptándose continuamente a las diversas condiciones internas y externas (24,2 a 24,9 horas). 3) *Reloj Social*: Hora local oficial establecida socialmente, que permite la interacción entre las personas y cumplir con las obligaciones de una vida en sociedad (24 horas), el mediodía corresponde al paso del Sol por los meridianos que definen cada zona horaria. El reloj social históricamente se ha sincronizado con el reloj solar y con el reloj biológico, pero con el surgimiento de la sociedad moderna industrial se perdieron ambas correspondencias. El uso generalizado de la electricidad en las ciudades debilitó la fuerza del principal zeitgeber (Sol), la vida en edificios y oficinas de las grandes ciudades excluye en gran parte la luz natural del día (zeitgeber débil) y la iluminación artificial durante la noche evita la oscuridad de la noche, generando una alteración del ritmo sueño-vigilia. La desincronización entre el reloj social y el reloj biológico se introdujo por la "Sociedad de 24 horas" y la desincronización entre el reloj social y el reloj solar se introdujo con la iluminación artificial. Los ritmos circadianos actuales no se adaptan fácilmente a su entorno natural, un sistema preparado para un mundo que ya no existe, en una sociedad productiva y activa durante las 24 horas del día, que no diferencia entre día y noche, con marcadores externos de tiempo menos confiables (Cardinali, 1994b) (Roenneberg et al., 2003) (Roenneberg et al., 2019).

Como se ha descrito, la duración del periodo de los ritmos circadianos humanos oscila en torno a las 25 horas y posee una capacidad de adaptación y resincronización en un rango de ± 2 horas por día (23 a 27 horas). Existe un margen mayor para alargar los días (unas 3 horas) que para acortarlos (1 hora), por lo que resulta más rápido y fácil alargar el ritmo (prolongar la vigilia) que acortarlo (acortar el día). Cuando se modifica la hora de acostarse y de levantarse, pueden aparecer dificultades transitorias para iniciar el sueño, si esta capacidad excede a la de nuestros límites biológicos de resincronización (Cardinali, 1994b) (Cardinali, 1994a) (Russell Foster & Kreitzman, 1999e) (Cardinal, 2002) (Golombek, 2007). Las alteraciones circadianas crónicas conducen no sólo a un deterioro del ciclo sueño-vigilia, sino también a un rendimiento y una productividad reducidos, a una mayor tasa de accidentes e incluso a riesgos graves para la salud (Smolensky & D'Alonzo, 1993) (Golombek & Rosenstein, 2010), infarto de miocardio (Portaluppi & Lemmer, 2007),

⁴ La *somnolencia* es la sensación de cansancio que genera una mayor inclinación a quedarse dormido. La *fatiga* es una sensación de cansancio físico y mental, no asociada a la inclinación al sueño.

enfermedad cerebrovascular (Brown et al., 2009), síndrome metabólico (Scheer et al., 2009), enfermedad de Alzheimer (Hu et al., 2009) y un mayor riesgo de cáncer (Reiter et al., 2007). Se deteriora el nivel de la atención y la capacidad de reacción, la memoria de trabajo, semántica y episódica, la capacidad de toma de decisiones, creatividad, productividad y multi-tasking, con fluctuaciones en el humor, ansiedad o depresión. Un grado excesivo de somnolencia, asociado con un mayor deterioro de la calidad de vida (Blanco et al., 2003) (Whitmire et al., 2009) (Olson et al., 2016) (Garbino & Jennings, 2018) (Beard, 2018).

Algunas condiciones ambientales pueden modificar un ritmo biológico sin afectar al reloj biológico (NSQ), los sincronizadores pueden incrementar o disminuir directamente la expresión de un ritmo, generar una aparente sincronización del organismo al ambiente, por acción directa sobre los efectores que expresan el ritmo, fenómeno llamado enmascaramiento. Los efectos del enmascaramiento son una consecuencia natural e inevitable de la vida en ambientes rítmicos. De tal forma, los ritmos biológicos expresados por los efectores del reloj biológico son una mezcla de efectos debidos al enmascaramiento y de aquéllos de un sistema temporal interno (M. D. Marques et al., 1997) (Salazar-Juárez et al., 2007) (Golombek & Rosenstein, 2010). Los cambios en los tiempos de exposición a la luz ambiental (sincronizador principal), frecuente en fotoperíodos extremos, pueden generar una desincronización circadiana, una relación anormal de una fase circadiana con respecto a otra (adelanto o retraso), una ausencia de relación entre ritmos (ritmo libre) o cambios en la amplitud de los ritmos. La amplitud es un indicador de la estabilidad de los ritmos, por lo que una alteración en su sincronización puede manifestarse con disminuciones en su amplitud. Con el envejecimiento, la degeneración del NSQ también genera una disminución en la amplitud y duración de los ritmos, con mayores dificultades para sincronizar los ritmos entre sí, por lo que disminuye la tolerancia y capacidad de adaptación a grandes cambios ambientales. El ritmo más afectado con el envejecimiento es el del sueño, suele encontrarse un avance de fase, disminución del nivel de alerta durante el día, siestas frecuentes, sueño nocturno de menor duración, con inicio y fin más temprano (Cardinali, 1994b) (Roenneberg et al., 2003) (Golombek & Rosenstein, 2010).

La disruption del reloj circadiano puede deberse a causas internas (envejecimiento, ceguera, enfermedades degenerativas del sistema nervioso y trastornos del sueño) o externas (jet lag, trabajo por turnos) (Bittencourt et al., 2010) (Wichniak et al., 2017b). Los *trastornos del ritmo circadiano* generan un sueño poco reparador por falta de congruencia entre el patrón del sueño del paciente y el patrón considerado óptimo por la norma social. El sueño se inicia y finaliza en momentos inadecuados, pero con una duración y estructura normal. Puede experimentarse somnolencia diurna excesiva o dificultad para conciliar el sueño, por buscarlo en una hora inadecuada (Thorpy, 2011) (American Academy of Sleep Medicine, 2014).

La iluminación artificial en la vida actual permite mantener la productividad constante en un mismo puesto de trabajo, mediante la conformación de sucesivos turnos de trabajo rotativos. En los países industrializados hasta un 20% de los trabajadores realizan trabajos en turnos, entendiéndose horarios nocturnos, rotativos (mañana, tarde, noche) u horarios irregulares. Habitualmente los trabajos en turnos duran entre 8 y 12 horas, alterando turno mañana y de noche. Aproximadamente entre un 10 a 25% de ellos sufren un *trastorno de sueño por trabajo en turnos* a causa de la desincronización circadiana y privación del sueño, con dificultades para mantener el nivel de alerta durante la noche y dificultades para conciliar el sueño durante el día, así como de una serie de problemas de salud biológicos, psicológicos o sociales. Ocurre una reducción del

rendimiento laboral, aumenta el tiempo de reacción, disminuye la coordinación psicomotora, se deteriora el procesamiento de la información y toma de decisiones, con mayor riesgo de errores, incidentes y accidentes. Esto también se asocia a trastornos digestivos, enfermedades cardiovasculares, síndrome metabólico, alteraciones del ciclo menstrual, riesgo de cáncer, trastornos psicológicos, ansiedad, depresión, surgimiento de conflictos personales y familiares (Cardinali, 1994a) (Härmä et al., 1998) (Russell Foster & Wulff, 2005) (Forberg et al., 2010) (Fossum et al., 2013) (Aguirre, 2015) (Jurado Luque et al., 2016). La tensión arterial presenta un ritmo circadiano relacionado al ciclo de sueño y vigilia, con valores más elevados durante el día y más bajos durante la noche, posiblemente por una mayor actividad simpática en vigilia. Esto puede estar influido también por factores ambientales y conductuales, la frecuencia cardíaca y la presión arterial aumenta durante el trabajo y disminuye durante el sueño, independientemente del tipo de turno. Se estima que en el trabajador por turnos también se altere el ritmo circadiano de la actividad simpática, lo que se puede relacionar con la hipertensión y el riesgo cardiovascular en el trabajador por turnos (Walters et al., 2003).

El *Jet Lag* o síndrome de cambio de zonas horarias, es una desincronización circadiana entre el reloj interno y el ambiente que se produce cuando un sujeto cruza varios husos horarios a través de un viaje aéreo. Se genera un desacople entre las señales de sincronización del nuevo lugar geográfico y el sistema circadiano interno que trae el viajero, requiriendo de varios días para adaptarse al nuevo huso horario. El NSQ permanece alineado con el medio ambiente previo al viaje y para ajustarse al nuevo medio ambiente se necesita de varios días, en promedio se puede resincronizar aproximadamente 60 a 90 minutos durante cada día que se pase en el nuevo destino. Se resincronizan 92 minutos por día en un viaje al oeste (retraso / alargamiento del ritmo) y 57 minutos en un viaje hacia el este (adelanto / acortamiento del ritmo). En esos días de reajuste pueden aparecer trastornos del sueño, insomnio de conciliación (este) o de mantenimiento (oeste), somnolencia diurna, trastornos gastrointestinales, bajo rendimiento físico y cognitivo, con fallas en el nivel de atención y alerta. El tiempo que se demora en adaptarse al nuevo horario depende de la magnitud del cambio horario y de la intensidad de la luz, pero suele ser en promedio de un día por cada huso horario atravesado (Cardinali et al., 2002) (Sack, 2010) (Romero & De la Torre, 2015).

El *síndrome de retaso de fase* consiste en dificultades para conciliar el sueño y despertar en horarios deseados por sufrir un retraso en el horario de inicio del mismo, pero este presenta una duración y calidad normal; es decir, se mantienen horarios de sueño estables, pero retrasados. Es el problema del ritmo circadiano más frecuente y afecta el 7 % de los adolescentes y a un 3% de población adulta joven. Suele comenzar en la adolescencia y se caracteriza por una incapacidad de iniciar el sueño nocturno antes de las 02:00 o 03:00 h de la madrugada. Estos sujetos no sufren ninguna dificultad durante las vacaciones, ya que despiertan cerca del mediodía. Es común entre los adolescentes que adopten estos hábitos, pero en menos de 10 días pueden adaptarse a un horario social habitual, en cambio las personas adultas que padecen este síndrome son incapaces de adaptarse y sufren problemas laborales y familiares, pudiendo constatar retrasos en las curvas de temperatura corporal y en las horas de alerta. En forma inversa, el *síndrome de avance de fase* se caracteriza por un inicio de sueño y despertar precoz, se inicia el sueño entre las 18:00 y 21:00 horas, con un despertar entre las 02:00 y 05:00 h de la madrugada. Este trastorno suele afectar a personas mayores, quienes presentan somnolencia vespertina que las hace conciliar el sueño mucho antes de la hora socialmente adecuada y despertarse mucho más temprano de lo socialmente necesario. Suele presentarse

disminución del nivel de alerta durante el día, siestas frecuentes, sueño nocturno de menor duración, de inicio y fin más temprano (Morgenthaler et al., 2007) (M. Quera Salva et al., 2015).

El *síndrome hipernoictameral o de libre curso (Free Running)* se caracteriza por incapacidad del sistema circadiano de ajustarse a un ritmo ambiental de 24 horas por falta de respuesta a los sincronizadores ambientales, presentando un ritmo de sueño y vigilia cercano a las 25 horas. Se puede encontrar este síndrome en el 50% de las personas ciegas, en especial personas con ceguera congénita y percepción luminosa anormal por lesión prequiasmática de la vía visual, como glaucoma congénito o retinitis pigmentaria. Experimentalmente se puede observar en sujetos sometidos a condiciones de luminosidad y temperatura constantes, sin actividad física, en reposo y con comidas controladas. Se presenta un retraso diario aproximado de una hora en acostarse y levantarse, continuando con un retraso progresivo de fase a medida que pasan los días, presentando insomnio cada 8 a 12 días. Cuando el sueño se da en una hora habitual de nuestra sociedad no hay ninguna queja de insomnio ni somnolencia, pero lentamente van sufriendo un retraso de fase con dificultad para iniciar el sueño, incrementando la somnolencia diurna hasta el día en el que se sufre grandes dificultades para conciliar el sueño nocturno y mantenerse despiertos durante el día (Morgenthaler et al., 2007) (Cardinali, 2013b) (M. Quera Salva et al., 2015).

El *síndrome afectivo estacional (SAD)* es un desorden estacional relacionado con los patrones de luz y oscuridad ambientales, caracterizado por un retraso de la fase de los ritmos circadianos y episodios de ánimo depresivo durante los meses de invierno en aquellas localidades alejadas del Ecuador y con muy pocas horas de luz solar. La falta de luz solar altera el ritmo de secreción de melatonina y la capacidad de sincronizar ritmos fisiológicos circadianos y circanuales, como el nivel de alerta y actividad, el estado de ánimo y el rendimiento cognitivo. Se caracteriza por ánimo depresivo, ansiedad, cansancio, falta de concentración, aumento de apetito por carbohidratos, aumento de peso y trastornos del sueño. La exposición a luz intensa por la mañana puede lograr un adelanto de fase y una mejora de los síntomas depresivos (Russell Foster & Kreitzman, 2005) (Palinkas & Suedfeld, 2008) (Aguirre Berrocal, 2015).

El tratamiento de los trastornos del ritmo circadiano tiene como objetivo resincronizar los ritmos con el ciclo natural día y noche de 24 horas. Como herramientas se utilizan: 1) Higiene de Sueño: levantarse siempre a la misma hora, sin transgredir más de dos horas los fines de semana; exponerse a la luz solar por la mañana, llevar una vida ordenada con horarios estables, realizar ejercicio físico regular de mañana o tarde, evitar estímulos luminosos y tecnológicos intensos por la noche. 2) Cronoterapia: resincronizar mediante un retraso del inicio de sueño progresivo durante una semana, retrasando dos a tres horas por día hasta lograr un horario ideal aproximado de 23:00 a 07:00 horas. 3) Fototerapia: exposición lumínica en determinados momentos para resincronizar los ritmos; la exposición por la mañana adelanta el reloj y la exposición al atardecer lo retrasa. 4) Cronobióticos: Melatonina para modular la actividad del NSQ, la administración por la mañana retrasa el reloj y la administración antes de acostarse lo adelanta. 5) Estimulantes: cafeína o modafinilo en horarios de actividad diurna, en especial en trabajadores por turnos (Dollins et al., 1994) (Morgenthaler et al., 2007) (M. A. Quera Salva et al., 2015).

2.3.2. Síndrome de sueño insuficiente

Según la American Academy of Sleep Medicine (AASM) y National Sleep Foundation un sueño saludable requiere una adecuada duración, buena calidad, regularidad de los horarios y ausencia de trastornos de sueño. La duración de sueño adecuada es la suficiente para que una persona se encuentre alerta y en buen estado de salud al día siguiente, duración que varía con la edad. Existen variabilidades personales, influenciadas por factores biológicos, ambientales, médicos y comportamentales, pero un adulto de 18 a 60 años suele requerir entre 7 a 9 horas de sueño nocturno para que sea adecuado (Nathaniel et al., 2015) (Hirshkowitz et al., 2015) (Jurado Luque et al., 2016). Los trastornos del sueño son muy frecuentes en la población general, aproximadamente un tercio de la población mundial percibe la presencia de trastornos del sueño (Blanco et al., 2003) (Léger et al., 2008). La mayoría de ellos refieren un impacto negativo sobre su calidad de vida, menor rendimiento laboral, deterioro del rendimiento cognitivo, mayor riesgo de accidentes, trastornos psicológicos, enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares. Existe una relación en U entre duración de sueño y problemas de sueño, ambos extremos se asocian con un mayor riesgo de muerte. El hábito de dormir menos de seis horas por noche (dormidor corto) se asocia a bajo ingreso económico, bajo nivel educativo, consumo excesivo de alcohol y tabaco, inactividad física y aumento de estrés laboral. Para un adulto, dormir más de nueve horas (dormidor largo) puede ser necesario en los fines de semanas de sujetos privados de sueño, pero de forma regular el dormir demás también se asocia con una mayor mortalidad (Cappuccio et al., 2010) (Cordero et al., 2015) (Nathaniel et al., 2015).

Los cambios sociales y tecnológicos de la sociedad activa las 24 horas han derivado en una reducción del tiempo de sueño nocturno. La mayor deuda de sueño se produce habitualmente durante la semana laboral, con tendencia alargar hasta dos horas de sueño de forma compensatoria durante el fin de semana (Jurado Luque et al., 2016). El *síndrome de sueño insuficiente* inducido por el comportamiento, también llamado sueño nocturno insuficiente o privación crónica del sueño, se caracteriza por un déficit en la cantidad de sueño necesario para un óptimo bienestar, salud y rendimiento. Esto ocurre debido a una restricción voluntaria y persistente del tiempo en cama, por obligaciones laborales y uso del despertador. El individuo no logra el tiempo de sueño necesario para mantener niveles normales de alerta y vigilia, pero mantiene intacta la capacidad para iniciar y mantener el sueño. Puede afectar a todas las edades, pero es más frecuentes en adultos jóvenes de cronotipo vespertino, ante exigencias sociales y laborales para inicio temprano de sus actividades diarias (Thorpy, 2011) (Chokroverty, 2011b) (American Academy of Sleep Medicine, 2014).

Una privación total de sueño altera las funciones mentales superiores, disminuye la capacidad de procesar la información externa y generar una respuesta adecuada. Se encuentran dificultades en el mantenimiento de la atención, concentración y velocidad en tareas cognitivas, hay una reducción de la memoria a corto plazo y del rendimiento intelectual (Koslowsky & Babkoff, 1992) (Russell Foster & Kreitzman, 1999a). Una privación total de sueño en ratas produce la muerte entre los 11 y 22 días, luego de atravesar un estado hipermetabólico de debilidad, pérdida y decoloración del pelo, lesiones cutáneas, ingesta aumentada de alimento, aumento del gasto energético y pérdida de peso, similar a un cuadro de síndrome de respuesta inflamatorio sistémico (Everson et al., 1989) (Russell Foster & Kreitzman, 1999c). Los experimentos en humanos han comprobado que se puede estar hasta 11 días sin dormir, con una disminución marcada del

rendimiento, ilusiones sensoriales y un fuerte deseo de sueño, hasta que inevitablemente se cae en un sueño que logra el restablecimiento mental sin secuelas luego del sueño de recuperación (Chokroverty, 2011b).

La privación crónica del sueño impacta a nivel físico, cognitivo, psicológico y social. Desde los psicológico pueden presentarse fluctuaciones en el humor, irritabilidad, ansiedad y depresión, disforia, fatiga, inquietud y malestar general. A nivel social, se puede observar cambios en la interacción con los pares y problemas conyugales. A nivel cognitivo se producen cambios en la atención (reducción de la alerta y de la capacidad para concentrarse en tareas continuas), en la memoria (disminución de la memoria de trabajo, semántica y episódica), en funciones ejecutivas (disminución en la capacidad de toma de decisiones, creatividad, productividad, coordinación y el multi-tasking); se presenta fatiga, cansancio y excesiva somnolencia diurna, aumentando la posibilidad de errores, lesiones de trabajo y accidentes de tránsito. A nivel físico genera modificaciones en el sistema nervioso autónomo, endócrino y metabólico; se deteriora la función inmunológica, cognitiva, cardiovascular y metabólica; se incrementa la resistencia a la insulina, el deseo de ingesta de carbohidratos y aumento del consumo de calorías, incremento de la actividad del sistema nervioso simpático. Esto aumenta el riesgo de síndrome metabólico, obesidad, diabetes, susceptibilidad a infecciones, hipertensión y enfermedades cardiovasculares (Russell Foster & Wulff, 2005) (Nedeltcheva et al., 2009) (Killgore, 2010) (Chokroverty, 2011b) (Jurado Luque et al., 2016) (Olson et al., 2016).

Dependiendo de la cronicidad, el grado de privación y la actividad laboral realizada, el sueño insuficiente suele acompañarse de somnolencia diurna y/o fatiga. La fatiga es la sensación de cansancio físico y mental, *no* asociado con un aumento en la propensión al sueño (característico del insomnio). La somnolencia puede ser fisiológica o subjetiva; la primera involucra la propensión al sueño ocurrida luego de medianoche y mediodía, la somnolencia subjetiva es una sensación de cansancio físico y mental con aumento en propensión y deseo de sueño. La somnolencia diurna es la consecuencia típica de la privación del sueño, pero también lo puede ser de la desincronización circadiana, de un trastorno del sueño que disminuya la eficiencia del mismo, de un estado inflamatorio sistémico o del uso de ciertos medicamentos (Russell Foster & Wulff, 2005) (Chokroverty, 2011b).

Un trabajo automatizado y complejo que requiere atención sostenida, monótono va a aumentar el riesgo de sufrir fatiga, disminución de alerta y de rendimiento; particularmente a tareas que requieren vigilancia y monitoreo continuo, toma de decisiones, reconocimiento, tiempos de reacción rápidos, seguimiento sensorial y memoria. El aumento del riesgo de errores y accidentes es mayor en lo trabajadores privados de sueño que además realizan trabajos por turnos, especialmente en turno nocturno, turnos de más de ocho horas de duración y descansos insuficientes. La somnolencia y fatiga causada por la desincronización circadiana y privación de sueño han estado involucradas en los principales accidentes y catástrofes industriales, aéreas y ferroviarias, como el accidente naval de Exxon Valdez en Alaska, el accidente nuclear en Chernóbil, el escape de gases tóxicos en Bhopal y el accidente del trasbordador espacial del Challenger. Estas alteraciones se traducen en grandes problemas de salud pública, los costos financieros de los trastornos del sueño en Australia representan al 0,8% del producto bruto interno, con un costo extra similar asociado a los efectos de los problemas del sueño sobre la función cognitiva y psicomotora relacionadas con fallas laborales y accidentes automovilísticos (Cardinali, 1994a) (Russell Foster & Kreitzman, 2005) (Hillman et al., 2006) (Chokroverty, 2011b) (Czeisler, 2011) (Francis et al., 2008) (Wilson, 2018).

2.4. La Antártida como modelo de desincronización biológica

La Antártida es el continente más remoto e inhóspito (*Anexo I*), las personas que viven allí enfrentan muchas situaciones estresantes que involucran al ambiente físico y el psicosocial. La exposición a periodos prolongados de aislamiento y confinamiento puede generar cambios psicológicos, deterioro de capacidades cognitivas, estados de ánimo negativos, tensiones y conflictos interpersonales. Se debe sobrepasar periodos de gran esfuerzo físico, fatiga y agotamiento, exposición al frío extremo, fuertes vientos y tormentas, superficies de hielo resbaladizas, grietas, lagos congelados o bloques de hielo desprendidos, que aumenta la probabilidad de lesiones accidentales o muerte. Los ciclos luz / oscuridad se prolongan a medida que aumenta la latitud, siendo cercanos a seis meses de día y seis meses de noche en los polos. Las respuestas fisiológicas a estas condiciones incluyen modificaciones de los ritmos circadianos, síntomas cardio pulmonares en las alturas de la meseta antártica, cambios en la circulación periférica por exposición al frío, hipotermia y congelación, cambios hormonales y supresión inmunológica (Yoneyama et al., 1999) (Farrace et al., 1999) (Palinkas, 2003) (Palinkas et al., 2004) (Palinkas & Suedfeld, 2008) (Pagel & Choukèr, 2016).

El medio ambiente antártico no brinda las señales temporales adecuadas para sincronizar eficientemente los ritmos circadianos; durante el verano y el invierno, la mayoría de las variables ambientales son prácticamente estables y se conforman fotoperíodos extremos de completa luminosidad en el verano u oscuridad durante el invierno (Golombek & Rosenstein, 2010) (Najjar et al., 2014). Una señal de luz inapropiada conduce a una desincronización circadiana, con alteraciones neurocognitivas, cardiovasculares, inmunológicas, cambios del ritmo de sueño, temperatura y atención (Najjar et al., 2014). La luz solar tiene una luminosidad que varía entre 1.000 lux en un día muy nublado y 100.000 lux en un día muy soleado, suficientes para sincronizar el sistema de tiempo circadiano. Sin embargo, la mayoría de los espacios de trabajo interiores tienen una iluminación promedio entre 200 a 500 lux. Durante el invierno solo se dispone de luz artificial y según la ubicación geográfica, puede observarse un brillo naranja en el horizonte al mediodía (500 a 700 lux), por lo que la fuerza del ciclo luz-oscuridad como sincronizador circadiano es muy baja y posiblemente insuficiente (Francis et al., 2008) (Najjar et al., 2014). Las regiones polares presentan el lugar ideal para explorar los cambios estacionales de los ritmos circadianos, algunas de las variables pueden estar mejor controladas, por ser una población aislada y confinada con cierta homogeneidad (Yoneyama et al., 1999) (Arendt, 2012).

Los trastornos del sueño son unas las principales quejas del personal desplegado en Antártida, habitualmente se reporta dificultad en la conciliación, menor eficiencia y calidad del sueño durante el invierno. La baja estimulación lumínica se asocia con un retraso de los ritmos circadianos y aumento del tiempo de secreción de melatonina, retrasando hasta una hora el inicio de producción de melatonina y el inicio del sueño. Se puede encontrar un síndrome de retraso de fase, mientras que otros sujetos presentan ritmos completamente desincronizados (*free-running*). El sueño se intenta en un momento o fase subóptima, con disminuciones en la eficiencia, latencia, duración y calidad de mismo. Durante el verano también pueden observarse cambios en la calidad y fragmentación del sueño, aunque menos pronunciados que en el invierno (Yoneyama et al., 1999) (Francis et al., 2008a) (Arendt, 2012) (Pagel & Choukèr, 2016) (Pattyn et al., 2018).

Estos síntomas relacionados con las variaciones en los patrones de luz / oscuridad en regiones polares y que generan desincronización circadiana durante el invierno polar, se agrupan bajo el termino *síndrome afectivo*

estacional; un trastorno circadiano ya nombrado. Se caracteriza por diversos grados de depresión, irritabilidad u hostilidad, insomnio, dificultad en la concentración, atención y en la memoria (Palinkas et al., 2004) (Russell Foster & Kreitzman, 2005) (Palinkas & Suedfeld, 2008) (Arendt, 2012) (Najjar et al., 2014). El tratamiento fótico con exposiciones lumínicas intensa por la mañana logra adelantar el ritmo circadiano, ajustar el horario de conciliación del sueño y reducir la somnolencia; se inhibe la producción de melatonina y se reducen los síntomas de la depresión. El ejercicio físico influye en los ritmos y mejora el estado de ánimo después de semanas de entrenamiento matutino (Adan et al., 2012) (Najjar et al., 2014).

Existen menos datos respecto de la evaluación de los ritmos circadianos de temperatura corporal. Esta medición es importante ya que permite estimar la actividad de los núcleos supraquiasmáticos en tanto reguladores del proceso circadiano del sueño. Los trabajos reportan un retraso de fase en el ritmo de 24hs de temperatura, tanto en campañas de verano (Gander et al., 1991) como invernales (Yoneyama et al., 1999).

El SNA tiene un papel importante en la regulación de los ritmos circadianos, en los procesos cognitivos vinculados al rendimiento y en el origen de diversas enfermedades. La exposición aguda al frío en humanos está asociada con la estimulación de varias respuestas autonómicas, incluida la vasoconstricción periférica, temblores, aumento de la frecuencia cardíaca y de la presión arterial (Walters et al., 2003). Pocos trabajos han explorado las modificaciones de este sistema en relación a la permanencia antártica, arrojando datos no concluyentes y a veces contradictorios. Sujetos evaluados durante el verano antártico mostraron un aumento de la presión arterial sistólica y una disminución de la frecuencia cardíaca, con un ritmo circadiano sincronizado a 24 horas a pesar de la presencia de luz solar permanente (Cugini et al., 1997). Estos datos contrastan con los de otros trabajos donde se informaron tendencias descendentes (Taylor et al., 1994) o incluso tendencias opuestas en la misma muestra dependiendo del tipo de trabajo que realizaban los sujetos durante una estadía invernal (Belkin & Karasik, 2001). El análisis de variabilidad de la frecuencia cardíaca permite en campañas de verano se observó una tendencia al predominio en la actividad parasimpática diurna (Farrace et al., 2003), mientras que otro estudio informó un aumento inicial del tono simpático seguido de un retorno a valores basales; este mismo trabajo refiere un aumento de la actividad simpática durante la permanencia invernal (Harinath et al., 2005). La atenuación de la variación diurna en la función vascular, que se encontró asociada a factores de riesgo coronario, y la perturbación potencial de estos ritmos en situaciones de crono disrupción puede contribuir al aumento del riesgo cardiovascular (Sauer et al., 1999).

En forma similar, existen pocos reportes de modificaciones en el rendimiento durante estadías antárticas. En mediciones con pruebas de rendimiento que simulaban el manejo de sistema de apoyo vital avanzado, no se observaron caídas severas en el rendimiento, sino más bien indicaciones sutiles de alteraciones (Sauer et al., 1999). La exposición a pulsos lumínicos de una hora de duración en Antártida genera un avance en la fase circadiana, una mejora en el rendimiento cognitivo y alerta medidos en forma objetiva. Sin embargo, no se observaron mejoras en las mediciones subjetivas de alerta (Corbett et al., 2012).

Por lo expuesto en esta sección, las alteraciones en los ritmos circadianos producto de la pérdida de su principal sincronizador, la luz natural, durante periodos prolongados de tiempo, es que consideramos a las bases antárticas ubicadas en latitudes extremas como modelos de desincronización circadiana.

2.5. La Antártida como Análogo Espacial

Las alteraciones en los ritmos circadianos son uno de los factores definidos por NASA como riesgos a controlar como parte de la investigación en humanos para las misiones espaciales presentes y futuras. Los astronautas duermen un promedio de seis horas diarias, siendo este de menor calidad, más superficial y con una mayor cantidad de despertares. La pérdida de sueño en el espacio se relacionaría con una serie de factores, la pérdida de la luminosidad cíclica del día y de la noche, la alteración de los horarios de trabajo y de descanso, la excesiva carga de trabajo y al retraso en la hora de inicio del sueño, las alarmas de la nave, las condiciones ambientales como el ruido, la temperatura, las luces y la incomodidad física, la adaptación a la microgravedad y el confinamiento, la ansiedad y el estrés del vuelo o la privación voluntaria para contemplar el paisaje o realizar alguna actividad social. La disminución del tiempo de sueño, la desincronización circadiana, la sobrecarga de trabajo y los periodos de vigilia prolongados se relacionan con caídas en el rendimiento de la tripulación y de los centros de control en Tierra, que puede contribuir a la ocurrencia de errores que comprometan los objetivos de la misión o la misión misma. Además, el sueño se encuentra involucrado en otros riesgos identificados por la NASA, tales como el trabajo en equipo, la adaptación psicosocial, el comportamiento humano, condiciones psiquiátricas y otros factores vinculados a la salud en general. Por tal motivo, la NASA recomienda que los astronautas duerman 8 horas por día en el espacio, que trabajen menos de 6,5 horas por día y 48 horas semanales. Establece como sobrecarga crítica de trabajo unas 10 horas por día, por más de 3 días a la semana y con un total de 60 horas semanales de trabajo (Monk et al., 1998) (Monk et al., 1999) (Whitmire et al., 2009) (Goodman, 2000) (Dijk et al., 2001) (Fong, 2004) (Mallis & DeRoshia, 2005) (Basner et al., 2013) (Xu et al., 2013) (Allen et al., 2017) (G. Sandal, 2018) (Gore, 2018) (Kanki & Hobbs, 2018) (Garbino & Jennings, 2018) (Pesce et al., 2022).

Los astronautas están expuestos a ciclos día / noche distinto al ciclo terrestre de 24 horas. Las misiones del Transbordador Espacial experimentaban períodos de 45 minutos de luz, seguidos de 45 minutos de oscuridad, un total de 16 amaneceres por día. Los turnos de trabajo estaban organizados en torno a días de 23,5 horas y muchos astronautas experimentan dificultades para dormir, con un promedio de solo seis horas de al día. Esta privación de sueño y desincronización circadiana es más notable luego de pasar 90 días en el espacio, podría incrementar el riesgo de accidentes debido a la fatiga y la somnolencia (Russell Foster & Kreitzman, 1999a) (Dijk et al., 2001) (Pesce et al., 2022).

Se necesitan esfuerzos para identificar las condiciones ambientales de la misión que interfieren con la calidad de sueño, así como las vulnerabilidades individuales a la pérdida de sueño y desincronización circadiana. Las áreas de investigación para mitigar el riesgo incluyen el estudio de las condiciones de sueño en sí mismo y de los factores que lo afectan, el desarrollo de herramientas para evaluar sueño y fatiga, el correcto diseño de esquemas de trabajo, la administración de contramedidas como luminoterapia y fármacos, entre otras. Las tripulaciones en la Estación Espacial Internacional (ISS) seguirán enfrentando este tipo de problemas. Las futuras misiones a la Luna, Marte u otras superficies planetarias van a ser extenuantes y fatigantes. El entendimiento de la naturaleza del sueño en el espacio y el desarrollo de estrategias de mitigación es por lo tanto relevante en el contexto actual de las misiones espaciales y en la preparación para el futuro (Whitmire et al., 2009) (Basner et al., 2013) (Brainard et al., 2013) (G. Sandal, 2018) (Gore, 2018).

En los viajes tripulados propuestos a Marte, los astronautas estarán expuestos a ciclos día / noche distintos al ciclo terrestre. Marte tiene un ciclo natural del día / noche más prolongado que el de la Tierra, con una duración de 24 horas 39 minutos (24,65 horas). Un viaje tripulado a Marte implica un riesgo de desincronización circadiana, a pesar que solo implique un 4% más largo que el reloj circadiano humano. La vida sobre Marte implicaría que cada 41 días, el sistema circadiano humano de los astronautas podría estar desfasados 12 horas con el día marciano, generando durante el día una reducción en rendimiento y en el nivel de alerta, dificultad para conciliar el sueño a la hora del descanso. También se presenta el factor de la luminosidad del cielo marciano, en Marte la luz del día presenta un espectro de longitudes de onda diferente, es principalmente de color marrón amarillento, mientras que en la tierra es azul verdoso, esto podría disminuir la capacidad de sincronización de la luz solar sobre el sistema circadiano, ya que los fotorreceptores son más sensibles al espectro de longitudes de onda de luz "más azules" que a las longitudes de onda más rojas que dominan el cielo marciano (Russell Foster & Kreitzman, 1999a) (Dijk et al., 2001) (Bass et al., 2005) (Wright et al., 2006) (Grondier et al., 2007) (Deroshia et al., 2008) (Read et al., 2015).

En las misiones espaciales, la capacidad de realizar estudios fisiológicos sobre los efectos del aislamiento y confinamiento prolongado está restringida por las limitaciones logísticas y metodológicas, con una muestra caracterizada por bajo número de astronautas. En el espacio además coexisten una gran variabilidad de condiciones, los efectos de la microgravedad, elevados niveles de ruido y radiaciones cósmicas y solares, estrés y sobrecarga de trabajo, sin lograr reconocer claramente qué papel desempeña cada factor por se o en asociación uno con el otro. Para desentrañar los mecanismos que resultan en adaptaciones fisiológicas y psicológicas al medio espacial se han desarrollado simulaciones de diversos aspectos de los vuelos espaciales en laboratorios con base en tierra bajo entornos controlados o "*análogos espaciales*". La identificación de los problemas que puedan detectarse en relación al confinamiento permite realizar una mejor preparación de la tripulación y diseñar contramedidas que ayudarán a los astronautas durante las futuras misiones interplanetarias. En particular, los mecanismos adaptativos psico-fisiológicos que se ponen en juego en situaciones de aislamiento y confinamiento extremos pueden ser identificados estudiando grupos pequeños que se someten a situaciones de laboratorio controladas, como ha sido el caso del proyecto Mars500. En este proyecto, se confinó a un grupo de sujetos durante 520 días, simulando las condiciones de aislamiento de un eventual viaje a Marte. Sin embargo, si bien estos diseños permiten controlar diversos factores experimentales, pierden valor en cuanto a la fidelidad con que simulan el estrés del aislamiento extremo (*Tabla 1*) (Gerzer, 2012) (Pagel & Choukèr, 2016) (Zivi et al., 2020) (Pesce et al., 2022).

En este sentido, debido las condiciones extremas de aislamiento del continente Antártico, éste es reconocido como el análogo terrestre más fiel de los aspectos bio-psico-sociales que se pondrían en juego en un viaje espacial. Una base antártica se caracteriza por un aislamiento y confinamiento prolongado, rodeado de un ambiente hostil y de bajas temperaturas, expuesto a las alteraciones de los ciclos luz / oscuridad, la ausencia de apoyo exterior o capacidad de evacuación, junto con una vida multicultural, el confinamiento, aburrimiento y la rutina, conforman un ambiente particular. Los sujetos que trabajan en bases antárticas y especialmente los que permanecen durante el invierno se encuentran dentro de las personas más aisladas de la Tierra (Wood et al., 2005) (Preston et al., 2012) (Pagel & Choukèr, 2016) (Mairesse et al., 2019) (Zivi et al., 2020).

Tabla 1: Investigación en ciencias de la vida en el ámbito espacial

	Laboratorio	Análogo Espacial Simulado	Análogo Espacial Real	Espacio
Ejemplo	 :enviar (DLR, Alemania)	 Proyecto Mars500 (ESA, RAS)	 Estación Concordia (Francia, Italia)	 Estación Espacial Internacional
Grado de analogía	+	++	+++	++++
Grado de control	++++	+++	++	+
Estandarización	++++	+++	++	+
Calidad de los datos	++++	+++	++	+
Convenios necesarios	+	++	+++	++++
Costos	+	++	+++	++++
Logística	+	++	+++	++++

Las condiciones de laboratorio permiten el control máximo de los factores experimentales estudiados (máxima validez interna). Cuánto más se acerca el diseño experimental a la situación que se pretende explorar, las posibilidades de control disminuyen, al tiempo que se gana en fidelidad a la realidad (máxima validez externa). Adaptada de (Gerzer, 2012) (Zivi et al., 2020).

La estación estadounidense Amundsen-Scott (polo sur geográfico), la estación franco-italiana Concordia (1.670 km al polo sur) y la estación rusa Vostok (1.300 km al polo sur), son las tres bases dentro del continente antártico que permanecen habitadas de forma permanente durante todo el año y comparten las características de un mayor aislamiento extremo. Otras bases se encuentran aisladas sobre la costa y a una distancia similar al polo sur, como por ejemplo la estación francesa Dumont d'Urville (2.600 km al Polo sur), la estación china Zhongshan (a 2.300 km), la estación alemana Neumayer III (a 2.100 km), la estación india Maitri (a 1.800 km), la estación británica Halley (a 1.600 km), la estación neozelandesa Scott (a 1.350 km) y la estación Belgrano II (1.300 km al Polo Sur). Dentro de todas ellas, solo unas pocas han tenido experiencia en estudios acerca de los efectos del aislamiento y confinamiento sobre los ritmos circadianos, dentro de los que se destacan la estaciones Concordia, Dumont d'Urville, Zhongshan, Neumayer III, Halley y Scott. La mayor diferencia entre las localizaciones de la costa y la meseta se relaciona con las dificultades logísticas de la meseta antártica y sus condiciones hipóxicas, mientras que la costa antártica se encuentra sobre el nivel del mar y presenta condiciones normóxicas (Pagel & Choukèr, 2016) (Zivi et al., 2020).

La Base Concordia (75° S, 123° E) es un centro de investigación construido por Francia e Italia y utilizado por la Agencia Espacial Europea como análogo espacial. Se emplaza sobre el hielo de la meseta antártica, en uno de las localizaciones más hostiles y frías del continente. Se encuentra a 3.233 m sobre el nivel del mar (equivalente a 3.800 m en el Ecuador), la presión atmosférica promedio es de 645 hPa (hipoxia crónica hipobárica), con niveles de oxígeno un 36 % más bajos que al nivel del mar. La humedad relativa del aire es extremadamente baja (0,03%), con una temperatura promedio de -51°C (-30°C verano y -60°C invierno), lo que hace que aventurarse al aire libre sea comparable a las actividades extravehiculares en el espacio. El sol está completamente ausente durante unos 100 días en el invierno y no se pone debajo del horizonte durante 100 días en el verano (Pagel & Choukèr, 2016) (Collet et al., 2016) (Mairesse et al., 2019) (Zivi et al., 2020).

2.6. Planteo del Problema

La Base Argentina Belgrano II está constituida por una serie de instalaciones de investigación científica emplazadas sobre un afloramiento rocoso de tierra firme en el Nunatak Bertrab en la Bahía Vahsel, sobre la Tierra de Coats, frente al sur del mar de Weddell y cerca de la plataforma de hielo de Filchner. Se encuentra aproximadamente a unos 1.300 km del Polo Sur, sus coordenadas geográficas son 77° 51' latitud sur y 34° 33' longitud oeste (*Figura 9*). El nunatak Bertrab es una masa de granito de una hectárea y media de superficie, que emerge sobre la nieve permanentemente libre de hielo, a 256 m sobre el nivel del mar. Ocupa una superficie de 1.100 m², en un terreno de 15.000 m². La superficie se encuentra cubierta por hielo durante la mayor parte del año, con excepción de uno o dos meses de verano; con una numerosa cantidad de grietas por fuera de su perímetro, lo que limita las salidas al exterior. Por su ubicación geográfica presenta cuatro meses de día, cuatro meses de penumbra (día y noche) y cuatro meses de oscuridad (noche polar). El período de oscuridad constante es a partir de finales de abril a finales de agosto, y la luz del día es constante desde finales de octubre hasta mediados de marzo. Se trata de una zona de fuertes vientos con temperaturas constantemente negativas que oscila entre los 5°C en verano y -54°C en invierno (valor absoluto más bajo en 2014 de -43°C), las ráfagas de viento superan los 200 km/h y contribuyen a la poca visibilidad frecuente. La flora se limita a algunos musgos y líquenes, mientras que la fauna se compone íntegramente de aves estivales como gaviotas, petreles y skúas. Las bajas temperaturas y la oscuridad del invierno antártico hacen imposible cualquier intento de rescate en un viaje de emergencia por barco u avión, estando físicamente aislada. Para generar un ciclo luz-oscuridad durante el verano se utilizan ventanas con las persianas cerradas durante la noche, acordando una rutina normal de sueño y usando cubre ojos noche si es necesario. En invierno, sin embargo, el ciclo de luz-oscuridad depende totalmente de la luz artificial, la iluminación de los espacios comunes es de 200 a 500 lux. La exposición a la luz ultravioleta es también más fuerte y el personal de las bases requiere anteojos solares para el trabajo externo. La calefacción es eléctrica y con radiadores de agua, que utilizan la energía administrada por un generador a combustible. Las comunicaciones con el continente se establecen mediante radio, internet y un sistema de comunicación telefónica por satélite (Quevedo Paiva, 2001c) (Quevedo Paiva, 2001d) (COMNAP. Council of Managers of National Antarctic Programs, 2017) (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020a).

Por las difíciles condiciones ambientales, el acceso y abastecimiento de la base está imitado al verano, realizado por el rompehielos ARA Almirante Irizar. La base cuenta con vehículos snowcat y motos de nieve que brindan movilidad al personal. La tripulación suele rondar en 20 sujetos (18 hombres en 2014), en su mayoría personal logístico del Ejército Argentino, que incluye un médico y un enfermero. La base cuenta con dos miembros del Servicio Meteorológico de la Fuerza Aérea Argentina y tres científicos civiles del Instituto Antártico Argentino, quienes realizan actividades en el Laboratorio Belgrano (LABEL), con estudios sobre ozono, atmósfera, magnetismo, glaciología, biología terrestre, geodesia, sismología y meteorología con radiosondeos. El personal cumple sus actividades bajo una rutina organizada y estructurada, mantenida por la estructura de mando, con períodos reglados de trabajo y descanso. Hay guardias rotativas de 24 horas para el control de incendios y supervisión de generadores eléctricos y otros equipos esenciales (M. Barbarito et al., 2001) (COMNAP. Council of Managers of National Antarctic Programs, 2017) (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020a).

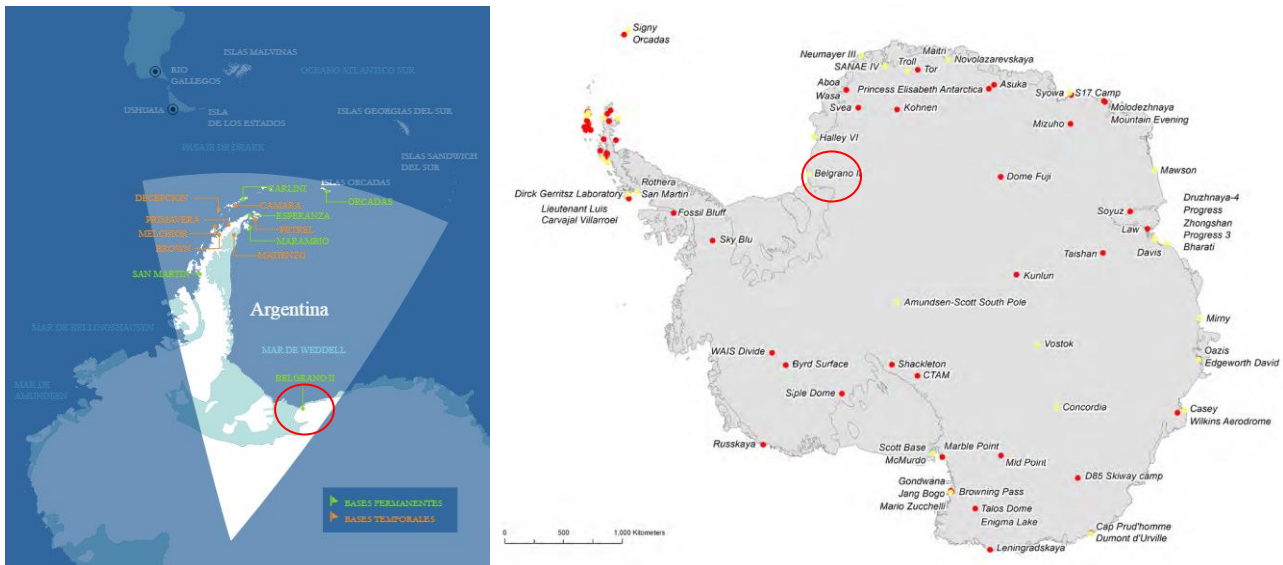


Figura 9. Izquierda: Mapa de Bases Antárticas Argentinas, tomado de: (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020e). Derecha: Bases Antárticas, tomado de: (COMNAP. Council of Managers of National Antarctic Programs, 2017).

Existen pocos trabajos en los que se hayan descriptos factores psicofisiológicos de adaptación humana a la vida en latitudes extremas en bases argentinas. Dentro de ellos se destacan el Programa de Psicología Antártica dirigido por la Dra. Marta Barbarito, que ha desarrollado durante más de 20 años un amplio trabajo en el campo de la psicología sobre la Base Belgrano II. Estudios centrados en analizar los procedimientos de selección del personal, el proceso de adaptación a condiciones de vida en un medio ambiente inusual y estresante, la adaptación al estrés y a la convivencia en grupos de individuos confinados, la percepción temporal y el síndrome de internada o Winter Over, un conjunto de síntomas frecuentes en la segunda mitad del año, caracterizado por falta de concentración, trastornos del sueño, ánimo deprimido, irritabilidad y conflictos interpersonales (Mocellin et al., 1991) (Peri et al., 1998) (Farrace et al., 1999) (Peri, Barbarito, et al., 2000) (M. Barbarito et al., 2001) (Palinkas, 2003) (Palinkas & Suedfeld, 2008) (M. G. Barbarito, 2011).

Según lo expuesto en las secciones precedentes, el continente Antártico constituye un modelo de estudio de fenómenos de descincronización producto de la falta de exposición al principal zeitgeber – la luz natural – durante periodos prolongados de tiempo. Además, es reconocido como el análogo terrestre más fiel de los aspectos bio-psico-sociales que se pondrían en juego en un viaje espacial. Sin embargo, existen diversos factores relacionados con el impacto del confinamiento extremo sobre los ritmos circadianos que no han sido completamente estudiados. Por ejemplo, las variaciones en el sueño diurno (siestas), el ritmo circadiano de la temperatura corporal, y los cambios en la actividad autonómica cardíaca. Tampoco se ha estudiado como los cambios descriptos en el ritmo sueño / vigilia puede modular los cambios en alerta. Además, por lo general estos parámetros no se estudian en forma conjunta y a veces las mediciones no abarcan todo el periodo de internada. Finalmente, gran parte de los estudios de la Agencia Espacial Europea se realizan en la Estación Concordia, que se ven influenciados por el factor hipoxia y es de interés extender las investigaciones fisiológicas de dicha base a análogos espaciales ubicados a nivel del mar.

En este sentido, la Base Belgrano II presenta características propicias para desarrollar este tipo de estudios, ya que forma parte de las pocas estaciones relativamente cercanas al polo sur y además es una de las pocas que se encuentran a nivel del mar. Así el presente estudio permitirá contestar las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cómo impacta la falta de exposición a la luz natural y el asilamiento extremo por periodos prolongados en el ciclo sueño / vigilia? (en particular en el sueño diurno)?
- ¿Cómo impacta la falta de exposición a la luz natural y el asilamiento extremo por periodos prolongados en el ritmo circadiano de temperatura corporal?
- ¿Cómo impacta la falta de exposición a la luz natural y el asilamiento extremo por periodos prolongados en la actividad del sistema nervioso autónomo?
- ¿Cómo impacta la falta de exposición a la luz natural y el asilamiento extremo por periodos prolongados en el nivel de alerta?
- ¿Los cambios en el ritmo sueño vigilia, modulan los posibles cambios en el alerta producto de la falta de exposición a la luz natural y el asilamiento extremo por periodos prolongados?

Además de las preguntas anteriores, este estudio presenta aspectos originales dados por:

- Entorno único que puede permitir la comprensión de mecanismos fisiológicos subyacentes a alteraciones circadianas, también presentes en otros grupos poblacionales o patologías.
- Número relativamente elevado de sujetos para estudios de esta naturaleza.
- Análisis exhaustivo y concurrente de variables fisiológicas.
- Registro de datos basales para la evaluación de futuras contramedidas.
- Posibilidad de realizar un seguimiento longitudinal a los sujetos.
- Posibilidad de replicar el estudio en años subsiguientes.

El estudio se enmarca dentro de la línea prioritaria de investigación “Adaptaciones humanas a las altas latitudes”, definida por el Instituto Antártico Argentino en su Plan Estratégico 2011-2021 “Ciencia Argentina en Antártida para un planeta en cambio” (Santillana, 2013). Además, la forma en que los seres humanos se adaptan a las condiciones extremas de la Antártida forma parte de las prioridades de investigación propuesto por el Comité Científico de Investigaciones Antárticas (SCAR) (Kennicutt II et al., 2014a)(Kennicutt II et al., 2014b).

3. OBJETIVOS e HIPÓTESIS

3.1. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el impacto cronobiológico de un año de aislamiento antártico sobre los habitantes de la Base Belgrano II.

Objetivos específicos

- ✓ Determinar si existen cambios significativos en el ritmo sueño / vigilia en relación al fotoperiodo extremo propio de la Base Belgrano II
- ✓ Determinar si existen cambios significativos en el ritmo circadiano de la temperatura corporal en relación al fotoperiodo extremo propio de la Base Belgrano II
- ✓ Determinar si existen cambios significativos en la actividad del sistema nervioso autónomo en relación al fotoperiodo extremo propio de la Base Belgrano II
- ✓ Determinar si existen cambios significativos en el grado de alerta en relación al fotoperiodo extremo propio de la Base Belgrano II
- ✓ Determinar si las posibles modificaciones en el ritmo sueño vigilia, ritmo circadiano de la temperatura corporal y actividad del sistema nervioso autónomo, se relacionan con los cambios en el grado de alerta, a lo largo del periodo de permanencia en la Base Belgrano II.

3.2. Hipótesis

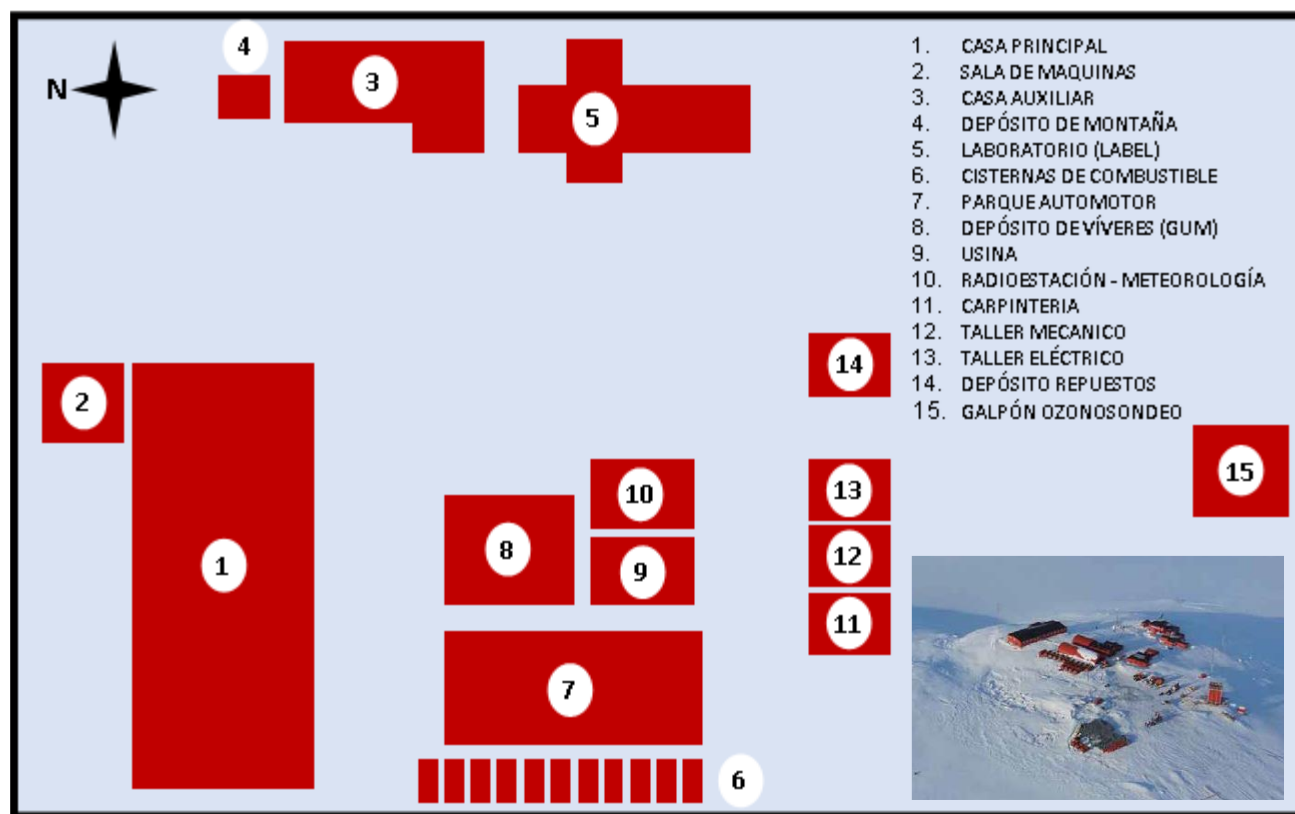
- ✓ El aislamiento antártico en Base Belgrano II presenta un fotoperiodo extremo propio.
- ✓ El fotoperiodo extremo de la Base Belgrano II determina cambios significativos en el ciclo sueño / vigilia.
- ✓ El fotoperiodo extremo de la Base Belgrano II determina cambios significativos en el ritmo circadiano de la temperatura corporal.
- ✓ El fotoperiodo extremo de la Base Belgrano II determina cambios significativos en la actividad del sistema nervioso autónomo.
- ✓ El fotoperiodo extremo de la Base Belgrano II determina cambios significativos en el nivel de alerta.
- ✓ Las posibles modificaciones en el ritmo sueño vigilia, ritmo circadiano de la temperatura corporal y actividad del sistema nervioso autónomo, se relacionan con los cambios en el grado de alerta, a lo largo del periodo de permanencia en la Base Belgrano II.

4. MÉTODOS

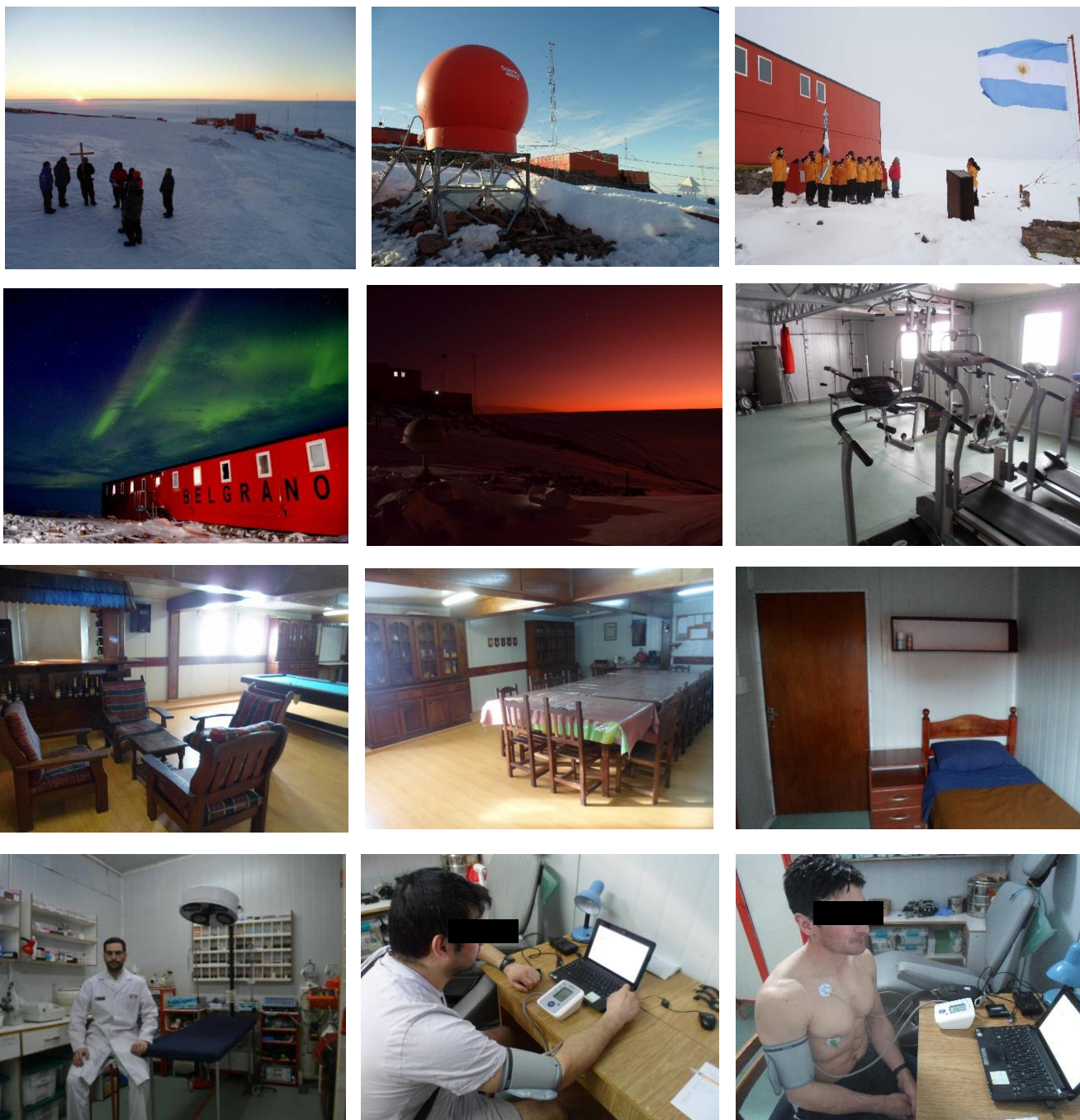
4.1. Base Belgrano II

Las instalaciones de la Base Belgrano II ocupan unos 578 m² cubiertos. La casa principal es la estructura de mayores dimensiones y es donde los expedicionarios pasan mayor cantidad del tiempo, cuenta con habitaciones individuales, baños, oficinas, comedor, cocina, depósitos, talleres, enfermería, sala de videos y gimnasio. El comedor tiene una superficie de 71 m², las habitaciones de 6,8 m² y la enfermería 14,4 m². El Laboratorio Belgrano (LABEL) funciona las 24 horas y el personal científico se aloja en su interior. El resto de las instalaciones de la base cumplen con tareas logísticas específicas (*Figura 10*) (*Fotos 1 a 12*) (COMNAP. Council of Managers of National Antarctic Programs, 2017).

Figura 10. Esquema de Base Belgrano II (Vista Superior)



La jornada laboral típica consiste en unas ocho horas de trabajo, 08:00 a 12:00 y 14:00 a 18:00 horas, donde cada sujeto se dirige a su sitio específico de trabajo. Las comidas se establecen a horarios fijos y reúne a todo el personal, desayuno, merienda, almuerzo y cena. Además, se agregan actividades grupales, la generación de agua por derretimiento de hielo y tunos de control de incendio; según las necesidades, jornadas de limpieza y manteniendo de la base. El tiempo libre se utiliza para realizar actividad física en el gimnasio, ver películas o contactarse con familiares. Por las condiciones adversas de la noche polar, se limita el trabajo en el exterior de la base y el horario de trabajo se suele unificar de 08:00 a 14:00 horas. Los primeros dos meses (enero y febrero), junto con los dos últimos dos meses de campaña (noviembre y diciembre), se incrementa la actividad laboral, a fin de reacondicionar la base para el relevo de la dotación.



Fotos de Base Belgrano II (de izquierda a derecha)

Fila 1: (1) (2) (3) Vistas del exterior de la Base Belgrano II

Fila 2: (4) Casa principal con aurora austral. (5) Casa principal en agosto. (6) Gimnasio

Fila 3: (7) Sala de estar. (8) Comedor. (9) Habitación (dormitorio)

Fila 4: (10) Sanidad. (11) (12) Mediciones de proyecto (tensión arterial, holter, actigrafía, test alerta)

Durante el verano hay un período de tres meses de iluminación ambiental constante, con un incremento de las demandas de trabajo, una mayor exigencia física y jornadas laborales más prolongadas. El invierno es un largo período de aislamiento y confinamiento, con una mayor monotonía, poca o ninguna posibilidad de evacuación y actividades al aire libre limitadas. La noche polar inicia cuando el sol deja de ponerse en el horizonte y finaliza cuando el sol reaparece sobre el mismo, en nuestro estudio inició el día 25 de abril y finalizó el día 18 de agosto de 2014 (116 días). La luminosidad estimativa en el exterior de la base en verano es de 100.000 lux un día despejado y de 30.000 lux un día nublado. En invierno la luminosidad es menor a 100 lux. En el interior de la base en el año 2014, la iluminación en el interior de la base fue provista a través de tubos fluorescentes de luz blanca cálida y fría Philips TLD 36W/54 de Flujo Lumínico 2.500. La luminosidad aproximada en las habitaciones fue de 200 lúmenes, en el comedor de 300 lux y en la enfermería de 500 lux [Lux = Lux Tubo x N° Tubos/m²].

Las variables meteorológicas (*Tabla 2*) registraron una temperatura máxima absoluta en diciembre (5,8°C), la temperatura mínima absoluta en agosto (-43°C), con promedios de -1,83°C en enero y -25,06°C en agosto. La presión promedio anual fue de 956,59 hpa y la Velocidad del viento promedio anual de 20 km/h, con variaciones durante el año. Dentro de las instalaciones la temperatura es mantenida por calefacción con radiadores de agua en aproximadamente 18°C, según las preferencias de la dotación.

Tabla 2: Variables Meteorológicas de la Base Belgrano II durante el año 2014

	Temp Máx (°C)	Temp Mín (°C)	Temp (°C)	Presión (hpa)	Humedad (HR%)	Viento (Knts)	Viento (Km/h)
Enero	0	-10,5	-3,9	962,2	82,9	3,3	6,1
Febrero	-3,3	-21,5	-8,8	922,8	76,3	5,6	10,4
Marzo	1	-34,6	-14,6	956,1	36,5	5,4	10
Abril	-2	-31	-15,4	958,4	18,5	12,5	23,1
Mayo	0	-34,3	-16,8	962	19,6	12,2	22,5
Junio	-7,2	-35	-21,1	959,7	0	11,3	20,8
Julio	-8,5	-36	-21	950,9	0	16,8	31
Agosto	-5,6	-43	-25,1	952,2	5,2	15,3	28,2
Septiembre	0	-34	-18,9	999,5	3,9	11,6	21,5
Octubre	-3	-25	-10,3	952,1	24,9	12,8	23,7
Noviembre	2,6	-16,6	-5,7	954	79	14	25,9
Diciembre	5,8	-11,5	-2,4	951,2	87,8	10,9	20,2
Enero	5	-12	-1,8	954,6	85,3	9,4	17,5
Promedio Anual	-1,17	-26,54	-12,75	956,59	39,99	10,84	20,07

4.2. Diseño

Se trata de un diseño observacional, analítico, longitudinal sin grupo control. Se evaluó el efecto de un año de aislamiento sobre diversos parámetros cronobiológicos en la tripulación de la Base Belgrano II. La misión a la Antártida comenzó a mediados de enero de 2014 y finalizó a mediados de enero de 2015. Las mediciones se recolectaron durante los meses de marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre. El conjunto de mediciones demandó a cada sujeto una dedicación máxima de tres horas y media, repartidas a lo largo de una semana.

Esquema general de mediciones

PRE-VIAJE	MARZO	MAYO	JULIO	SEPTIEMBRE	NOVIEMBRE
Consentimiento					
Mediciones de prueba	Mediciones puntuales	Mediciones puntuales	Mediciones puntuales	Mediciones puntuales	Mediciones puntuales



Semana típica de una medición puntal

Esquema orientativo, la distribución pudo variar según cuándo hubiese sido el día de guardia.

Duración aproximada de 180 minutos durante la semana

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
ACTIGRAFÍA continua durante la semana						
Medición de TEMPERATURA continua durante la semana						
Diario de sueño	Diario de sueño	Diario de sueño	Diario de sueño	Diario de sueño	Diario de sueño	Diario de sueño
Frecuencia Cardíaca	Frecuencia Cardíaca	Frecuencia Cardíaca	Frecuencia Cardíaca	Frecuencia Cardíaca	Frecuencia Cardíaca	Frecuencia Cardíaca
Tensión Arterial	Tensión Arterial	Tensión Arterial	Tensión Arterial	Tensión Arterial	Tensión Arterial	Tensión Arterial
Ortostatismo en Ayunas						
Peso en Ayunas						
HOLTER 24 hs Inicio	HOLTER 24 h Fin					
Test de Alerta Percepción Tiempo 08:00 a.m						
Test de Alerta Percepción Tiempo 08:00 p.m.						
CUESTIONARIOS (Pittsburgh, Epworth)						

4.3. Sujetos

La tripulación de la Base Belgrano II del año 2014 fue de 18 sujetos de género masculino, 13 pertenecientes al Ejército Argentino, dos a la Fuerza Aérea Argentina y tres al Instituto Antártico Argentino. Debido a que el personal del Instituto Antártico y de la Fuerza Aérea realizó trabajos por turnos durante toda la campaña, no se han incorporado al estudio y solo se han estudiado a los 13 sujetos pertenecientes al Ejército Argentino. Los sujetos fueron homogéneos en cuanto a sus características físicas como la edad, peso, altura e índice de masa corporal y estaban libres de cualquier enfermedad crónica. El análisis de tamaño muestral para medias emparejadas mostró que este número, que constituye un número de integrantes habitual de la Base Belgrano II, es adecuado para detectar diferencias del orden del 10% en las variables estudiadas, con 80% de potencia y 5% de error alfa. Se asumió un desvío estándar de 15% y una correlación entre los valores de 0.6. Estos parámetros fueron estimados en función de nuestra experiencia previa y de lo reportado en la literatura para las variables analizadas.

Todos los participantes estaban sanos, de acuerdo con la historia clínica y los exámenes físicos realizados antes de la selección como tripulantes. Los Criterios de Inclusión fueron pertenecer al Ejército Argentino, estar inscripto para invernar en la campaña antártica 2014, aprobar el curso antártico y disponer del riguroso apto psico-físico para invernar. Los Criterios de Exclusión serán la negativa a participar del estudio o la presencia de enfermedades crónicas que puedan actuar como factores confundidores de las mediciones fisiológicas a instrumentar.

4.4. Mediciones

Las mediciones realizadas buscaron cumplir con los objetivos planteados y no interfirieron en la rutina de trabajo y horarios de descanso. Se describe a continuación los instrumentos de medición. En forma basal antes y luego de la terminación del estudio se realizó un examen clínico general que incluyó además radiografías de tórax y columna, ecografía abdominal y renal, electrocardiograma y ergometría de esfuerzo, electroencefalograma, examen visual, examen otorrinolaringológico, examen bucodental, evaluación psicológica, laboratorio con hemograma, química, serologías, coagulación, perfil lipídico, orina completa (Ejército Argentino, 2001).

4.4.1. Valores antropométricos

Por cada medición del año se registraron valores antropométricos que incluyeron *peso*, *altura* e *índice de masa corporal* ($IMC = \text{peso} / \text{altura}^2$) (Ode et al., 2007). Durante cada mañana, antes del desayuno, se realizó la toma de la *presión arterial* y *frecuencia cardíaca* (FC). Se considera presión arterial a la fuerza que ejerce la sangre sobre la pared de las arterias. La *tensión arterial* (TA) es la fuerza de resistencia de una magnitud similar a la presión arterial, que se opone en sentido contrario para evitar su distensión exagerada del vaso. La TA se expresa en milímetros de mercurio (mmHg) y puede medir con un manguito neumático conectado a un manómetro analógico o digital. La *tensión arterial sistólica* (TAS) es el mayor valor de presión obtenido durante la eyección ventricular y la *tensión arterial diastólica* (TAD) es el mínimo valor de presión observado durante la diástole (Argente & Álvarez, 2013).

La TA se reportó como el promedio semanal de las determinaciones diarias obtenidas por la mañana, mediante un dispositivo automático validado para tal fin (tensiómetro digital OMNRON HEM-7200), siguiendo las recomendaciones de la American Heart Association y el Consenso de Hipertensión Arterial de la Sociedad Argentina de Cardiología. Para la medición de la TA el sujeto previamente permaneció sentado cinco minutos en un sitio tranquilo dentro del comedor, relajado y cómodo, bajo una temperatura agradable. Durante los 30 minutos previos no debía ingerir alimentos, fumar, consumir café o mate. La postura fue sentada con apoyo dorsal, pies apoyados sobre el suelo, brazo a la altura del corazón, sin compresión de la ropa, con el antebrazo pronado y apoyado sobre la superficie firme de una mesa. La cámara neumática del tensiómetro cubría las dos terceras partes del brazo, fue colocado su borde distal 2-3 cm por arriba del pliegue de flexión del codo, con la señalización correspondiente sobre la arteria humeral. El tensiómetro se colocó sobre una mesa a la altura del tórax y sin que las tubuladuras contacten con la piel. La primera medición del año se realizó en ambos brazos y se determinó cual presentaba valores más elevados, que se utilizó en las mediciones siguientes del año. Por cada medición matutina se registraron dos tomas, registrando los valores de la TAS, TAD y FC, cuando existía entre ambas mediciones una discrepancia > 10 mmHg en la TAS y/o > 5 mmHg en la TAD se tomaba una tercera medición adicional y finalmente se promediaron los valores de las dos o tres tomas. Se mantuvo el ambiente silencioso entre las tomas y se informó del resultado al finalizar las mismas (Consejo Argentino de Hipertensión Arterial, 2013) (Pickering et al., 2005).

Durante la mañana del día de colocación del Holter, en ayunas y mediante el *test de ortostatismo* se detectó la respuesta sistólica y de la frecuencia cardíaca luego del cambio de la posición de decúbito dorsal a supino. Se determinó la *presión ortostática* con un primer registro en decúbito dorsal sobre la camilla y luego un registro en posición supina de pie al minuto y un tercer registró a los 3 minutos, según la sugerencia del Consenso para el diagnóstico y tratamiento del Sincope de la Sociedad Argentina de Cardiología. Se considera *hipotensión ortostática* al descenso de la presión arterial sistólica mayor de 20 mm Hg y/o de la diastólica mayor de 10 mm Hg dentro de los 3 minutos de ortostatismo (Militello et al., 2012).

4.4.2. Ciclo sueño / vigilia

4.4.2.1. Actigrafía

El ciclo sueño-vigilia fue evaluado por actigrafía de muñeca durante periodos de siete días por cada medición. Los actígrafos son dispositivos portátiles no invasivos, desarrollados para registrar patrones de movimiento a través de acelerómetros, sensores que miden la inercia generada por un cambio de velocidad. Si bien registran el movimiento de una extremidad y no analiza directamente el sueño, mediante algoritmos informáticos pueden estimar con precisión patrones de sueño y de actividad. Los dispositivos registran la amplitud de los movimientos corporales de la parte del cuerpo donde son colocados, generalmente en la muñeca de la extremidad no dominante. Físicamente se asemeja a un reloj pulsera, no genera molestias y permite registros por durante largos períodos de tiempo, días a semanas. Los periodos de vigilia se relacionan con muchos movimientos, mientras que los periodos de sueño con pocos o ninguno. Esta es la base para determinar los períodos de sueño, a través de los algoritmos mencionados o mediante análisis visual de un observador entrenado (Littner et al., 2003) (Morgenthaler et al., 2007) (Smith et al., 2018).

La actigrafía es un método portátil y válido para el estudio del sueño y los ritmos circadianos, especialmente cuando se debe estudiar el sueño por tiempo prolongado en el entorno habitual del sujeto, en las situaciones donde una polisomnografía (PSG) sería dificultoso de realizar (Morgenthaler et al., 2007). Si bien la PSG debería ser el "estándar de oro" para estudiar sueño, la extrema simplicidad de la actigrafía la hace adecuada para situaciones en las que los experimentos de arquitectura del sueño no son el foco principal de la misión, como en las expediciones polares y viajes espaciales (Monk et al., 1999). La actigrafía de muñeca tiende a sobrestimar el sueño en sujetos con mala calidad de sueño, con posibles imprecisiones sobre la eficiencia del sueño, latencia de inicio, tiempo total de sueño y vigilia luego de iniciado el mismo (Pattyn et al., 2018). Además de proporcionar un resumen gráfico de los patrones de sueño, el software genera estimaciones objetivas de la hora de inicio y fin de sueño, tiempo total de sueño y eficiencia de sueño (tiempo total de sueño / tiempo total en cama). Inicialmente fue desarrollada para su uso en investigación, pero desde la *segunda clasificación de desórdenes de sueño* (2005), se considera como herramienta útil en el diagnóstico de trastornos del sueño, contando con guías para su uso por la Asociación Americana de Medicina del Sueño (Littner et al., 2003) (Morgenthaler et al., 2007) (Pandi-Perumal et al., 2008) (Smith et al., 2018).

El dispositivo utilizado fue MicroMini-Motionlogger® Actigraph (Ambulatory Monitoring Inc., Ardsley, NY) de tamaño y forma similar a un reloj pulsera, resistente al agua, peso de 25 gramos, una batería botón intercambiable para un funcionamiento aproximado de 4.000 horas y memoria interna. Las mediciones se realizaron en modo Proportional Integration Mode PIM (área bajo la curva para cada época). Para descargar datos a una PC se utilizó el MicroMini-Motionlogger® Actigraph Interface / Conector. Los análisis fueron realizados por el software proporcionado por el fabricante (Action-W User's Guide, Versión 2.4; Ambulatory Monitoring) y luego confirmados visualmente por el investigador (Bellone et al., 2016) (Ambulatory Monitoring Inc, n.d.).

Se informaron los siguientes índices, como valores promedio de todos los sujetos en una medición: número de noches registradas por cada medición, inicio del sueño (hora de inicio del primer episodio de sueño después de acostarse, según lo registrado por actigrafía), fin del sueño (hora de finalización del último

episodio de sueño antes de despertarse, según lo registrado por actigrafía), duración del sueño (tiempo transcurrido entre el inicio y el final), eficiencia del sueño (relación expresada como % del tiempo total durmiendo en comparación con la cantidad total de tiempo en cama). Para los episodios de sueño diurno, se determinó el número medio de episodios observados durante el período de medición y la duración media de los mismos incluyendo los días con y sin siestas. También informamos la proporción de sueño diurno en comparación con el sueño nocturno. Por el contrario, la media de inicio, fin, duración y eficiencia de las siestas se calcularon promediando el número de episodios de siesta (es decir, excluyendo los días donde no hubo sueño diurno), para aquellos participantes que durmieron al menos una siesta en cada período de medición (Macchi et al., 2002) (D. Vigo et al., 2013).

La actigrafía fue interpretada con ayuda de los datos aportados por los *diarios de sueño* completados por los sujetos durante cada mañana, que permitió determinar en qué periodos intentó dormir, para luego relacionarlos con los periodos en los que realmente durmió de acuerdo con el instrumento. Esto incrementa la confianza de los resultados cuando ambos métodos coinciden. Fueron excluidos del análisis aquellos registros de actigrafía que presentaban en algún parámetro una diferencia mayor a 120 min con respecto a la agenda de sueño. Los valores de la actigrafía que presentan una menor precisión son la latencia y la eficiencia del sueño, ya que la eficiencia depende totalmente de cálculos realizados por el software y la latencia de sueño no cuenta con la hora precisa en la que el sujeto se acostó para dormir o porque permanecen en reposo inactivos y despiertos durante un tiempo antes del sueño real (Ancoli-israel et al., 2003) (Morgenthaler et al., 2007) (Francis et al., 2008a).

Además, para evaluar cronotipo y los patrones de sueño durante los días no hábiles (libres) y los días hábiles (laborales), se determinó por actigrafía la hora de inicio, hora de fin, duración y punto medio del sueño. Se determinaron los siguientes índices: a) *Punto medio del sueño* (mediana) en los días no hábiles, que determina el cronotipo al demostrar el patrón de sueño libre de las obligaciones sociales o laborales, solo la preferencia individual de sueño del sujeto; b) *Punto medio de sueño corregido* (punto medio corregido, $MSF - 0,5 \times (SDF - (5 \times SDW + 2 \times SDF) / 7)^5$, que considera la duración del sueño durante la semana, para evitar el factor influyente de la restricción de sueño, cual puede generar un sueño de recuperación durante los días libres y un punto medio más tardío; c) *Jet lag social*, discrepancia mayor a dos horas entre el punto medio del sueño entre días libres y hábiles (mediana días libres – mediana días hábiles); d) *Jet lag social corregido*, de uso en cronotipos tardíos con presencia de jet lag social, se calculó mediante la Hora de Inicio sueño días libres – Hora de Inicio sueño días hábiles (Roenneberg et al., 2004) (Wittmann et al., 2006) (Roenneberg & Merrow, 2007) (Lomeli et al., 2008) (Polugrudov et al., 2016) (Tassinio et al., 2016) (Jankowski, 2017) (Roenneberg et al., 2019).

⁵ MSF: Punto medio de sueño días libres. SDF: duración del sueño días libres. SDW: duración del sueño días laborales.

4.4.2.2. Cuestionarios y diario de sueño

Se administraron en forma periódica cuestionarios diseñados y validados en español para medir distintos parámetros de sueño. El índice de calidad del sueño de Pittsburgh (PSQI) y la escala de somnolencia de Epworth (ESS) para evaluar calidad del sueño y somnolencia diurna. Para garantizar la confidencialidad todos los cuestionarios fueron codificados; luego de ser contestados, el sujeto los depositó en una caja urna que abrió el investigador luego de terminado el trabajo de campo. Los cuestionarios se administraron una vez en cada medición con la intención de registrar aspectos de la experiencia del sueño del mes anterior (Daniel E Vigo et al., 2012). Durante cada medición se completó además un *diario de sueño* de siete días (*Anexo II*), donde el sujeto, cada mañana al levantarse registraba la hora que se acostó y apagó las luces para dormir la noche previa y la hora a la que se levantó; además registraba si había tomado alguna o varias siestas el día anterior y su hora de inicio y finalización (Ministerio de Sanidad y Política Social, 2010) (Berry, 2012).

La *Escala de somnolencia diurna de Epworth* (*Anexo III*) es un cuestionario auto-administrado sobre ocho situaciones conocidas como facilitadoras del sueño durante el día. Se debe responder cada una de estas hipotéticas situaciones con la probabilidad de quedarse dormido, según la experiencia reciente del mismo sujeto o según como se imaginaria en tales circunstancias si es que no las ha atravesado. La escala brinda mediciones validas de estados de somnolencia diurna en adultos, con puntuaciones de 0 a 24, valores mayores a 10 se consideran patológicas, indicativo de somnolencia diurna excesiva, pero sin ser diagnósticos de ningún trastorno en particular. La propensión al sueño está influenciada por la calidad y duración del sueño de la noche anterior, la hora del día, los trastornos del sueño, los efectos de drogas y las diferencias fisiológicas entre los individuos (Murray William, 1991) (Knutson et al., 2006) (Lomeli et al., 2008).

El *Índice de calidad de sueño de Pittsburgh* (*Anexo IV*) es otro cuestionario auto-administrado, que evalúa la calidad del sueño nocturno percibida durante las últimas cuatro semanas, puede ser utilizado en la población general como elemento de screening, detectando “buenos” y “malos” dormidores. Contiene 19 preguntas y la suma de todas brinda un valor final, donde un valor elevado implica mala calidad de sueño. Cada ítem se puntúa de 0 a 3 puntos y finalmente se utiliza un algoritmo que brinda una puntuación total que oscila entre 0 y 21 puntos. Sus preguntas evalúan factores determinantes de la calidad del sueño, agrupados en siete componentes: Calidad, Latencia, Duración, Eficiencia, Alteraciones del Sueño, Medicación para dormir y Disfunción diurna. Cuanto más elevada es la puntuación, peor es la calidad del sueño, usando habitualmente un valor mayor a 5 para definir a los malos dormidores. También se puede analizar específicamente alguna pregunta puntual o tomar los valores de cada componentes del sueño que pueden estar siendo afectados y son siete: Calidad Subjetiva de Sueño, Latencia de Sueño, Duración del Sueño, Eficiencia habitual de Sueño, Perturbaciones del sueño, Utilización de medicación para dormir, Disfunción durante el día (Buysse et al., 1989) (NIH (National Institutes of Health), 2006) (Macías Fernandez & Royuela Rico, 1996). PSQI y ESS son utilizadas en medicina asistencial e investigación, escalas confiables para determinar la calidad de sueño y la somnolencia diurna luego de pasado un año en personas adultas de mediana edad (Knutson et al., 2006).

4.4.3. Ritmo circadiano de temperatura corporal periférica

Se realizaron mediciones de la *temperatura corporal periférica* de la piel para caracterizar los ritmos circadianos de temperatura en la Antártida. Si bien la *temperatura central* es el método más preciso para evaluar el sistema circadiano y existen varias formas de registrarla (rectal, bucal, digestiva, yugular), la temperatura de la piel guarda una fuerte relación con la temperatura central y resulta una alternativa menos invasiva y más cómoda, que permite continuar con las actividades de la vida real (*condiciones naturalísticas*). Es un método muy utilizado en estudios ambulatorios y prolongados que buscan caracterizar los ritmos circadianos (van Marken Lichtenbelt et al., 2006) (Sarabia et al., 2008) (Gaoua, 2010) (Cuesta et al., 2017). Los sensores de temperatura de la piel se pueden colocar en diversos sitios anatómicos. La temperatura de piel proximal (tronco) se puede estimar con sensores ubicados sobre el esternón, muslo, abdomen y espacio subclavicular. La temperatura de piel distal se puede estimar con ubicados en mano y pie. El espacio supraclavicular derecho es el único marcador que no disminuye durante la exposición al frío, probablemente debido al aumento de actividad de la grasa parda y a la proximidad de los grandes vasos del mediastino (Van Someren, 2006) (Martinez-Tellez et al., 2017). Por practicidad, comodidad y no invasividad, se ha utilizado el espacio infraclavicular derecho. Las temperaturas del ambiente extremadamente bajas, el tipo de abrigo y las actividades que realiza la dotación puede tornar inconveniente el uso de un sensor en la muñeca.

Se utilizaron sensores no invasivos de temperatura que se adhieren a la piel (i-Button). El ThermoChron iButton® DS1291H (Maxim integrated, Dallas, USA) es un sensor de temperatura inalámbrico, resistente e impermeable, fabricado con materiales semiconductores. Contiene una batería de litio, un reloj y una memoria interna, dentro de un botón de acero inoxidable de 16 × 6 mm. Puede registrar hasta 2.048 valores a intervalos equidistantes que varían de 1 a 255 min, en un rango de temperatura entre -40°C y +85°C, con una precisión de 0,125°C. Los datos luego son transferidos a una computadora a través de un adaptador. El uso de los i-Buttons fue descrito en estudios de ritmos circadianos y sueño, donde permitió caracterizar eficazmente ritmicidad circadiana en situaciones de laboratorio y naturales (van Marken Lichtenbelt et al., 2006). Para estimar el ritmo de la temperatura de la piel se puede utilizar como marcador de fase al tiempo de la temperatura máxima (acrofase) para las mediciones de temperatura distal (manos y pies) y el tiempo de la temperatura mínima (batifase) para la temperatura proximal (pecho), que se ubica levemente antes del mínimo valor de temperatura central (Cuesta et al., 2017).

El sensor se utilizó en el espacio subclavicular y se mantuvieron en contacto con la piel mediante el uso de tela adhesiva de óxido de zinc. Se tomaron muestras de las medidas de temperatura cada 10 minutos durante los siete días en cada medición. (Steinach et al., 2016) (Huiberts et al., 2017). Luego del registro, los datos fueron transferidos a una computadora donde se analizaron las características del ritmo mediante el ajuste de una curva cosenoidal a los datos observados siguiendo el método de cosinor. Se analizaron las siguientes variables: 1) **Porcentaje de ritmo** (porcentaje de la varianza de los datos explicado por el modelo), 2) **Mesor** (valor medio de las mediciones de temperatura estimado por el modelo), 3) **Amplitud** (Diferencia entre el valor máximo y medio de la curva ajustada por el modelo), 4) **Acrofase** (momento del día en que ocurre el valor máximo de temperatura), 5) **Ángulo de Fase**, diferencia entre la Hora de Inicio de Sueño determinada por actigrafía y la acrofase del ritmo de temperatura periférica (Steinach et al., 2016) (Huiberts et al., 2017).

4.4.4. Regulación autonómica del ritmo sinusal (diferencia día / noche)

El ritmo sinusal presenta una regulación autonómica de predominio simpática durante la vigilia, lo que permite una mayor actividad con el medio externo y un mayor uso de energía; con un predominio de influencia parasimpática durante la noche, relacionado con la restauración física y mental. La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es una medida de la modulación autonómica del corazón que se utiliza para cuantificar los efectos fisiológicos de la adaptación humana a diferentes ambientes estresantes (Daniel E Vigo et al., 2012) (Maggioni et al., 2020). La VFC es una herramienta confiable y no invasiva, las mediciones realizadas durante el sueño tienen la particularidad de brindar información importante sobre la naturaleza de la regulación cardiovascular, evitando las influencias originadas por la actividad física y los cambios de la postura corporal (Xu et al., 2013).

Mediante un Electrocardiograma Holter de 24 horas y el uso de un software (Holtech, Servicios Computados SA, Buenos Aires, Argentina), se detectaron las despolarizaciones ventriculares (ondas R) y el tiempo transcurrido entre las ondas R (intervalos RR), lo que permite luego de un procesamiento computarizado, obtener los índices de VFC. Para el análisis, los períodos de 24 horas fueron divididos en vigilia o sueño, según los horarios de actigrafía de cada sujeto. Luego se tomaron segmentos de 30 minutos y se eliminaron los que duraban menos tiempo. Los períodos de 30 minutos fueron clasificados como vigilia o como sueño, los períodos de sueño durante el día fueron marcados como siestas y excluidos del análisis de la vigilia. Los latidos prematuros y perdidos se identificaron mediante un filtro automático y se reemplazaron por intervalos RR resultantes de la interpolación lineal. Los segmentos con más del 20% de intervalos faltantes se excluyeron del análisis adicional.

Se realizó un análisis en el dominio del tiempo de acuerdo a lo ya descrito en la introducción de esta Tesis. Para analizar los componentes de frecuencia de la VFC, se eligió la *transformada de onda wavelet* (Discrete Wavelet Transform) (DWT) en lugar de la tradicional *transformada rápida de Fourier* (Fast Fourier Transform) porque no se ve afectada por discontinuidades o fragmentos no estacionarios. Antes de aplicar el DWT, la tendencia lineal y el valor medio se restaron de la señal. Además. Se muestreó uniformemente con una frecuencia de 2,4 Hz mediante un algoritmo de interpolación spline y se rellenó con ceros hasta la siguiente potencia superior de dos. Se empleó una descomposición de ondas de nueve niveles para analizar la señal, utilizando una función de cuatro ondas de Daubechies. Usando esta descomposición, los niveles de ondas D2-D9 y A9 representan la *potencia espectral total* (área total o variabilidad total) (AT 0,0 - 0,6 Hz), los niveles de ondas D6-D9 corresponden a la banda de *muy baja frecuencia* (VLF: 0,0023 - 0,0375 Hz), los niveles de ondas D4-D5 a la banda de *baja frecuencia* (LF: 0,0375 - 0,15 Hz) y los niveles de ondícula D2-D3 a la banda de *alta frecuencia* (HF: 0,15 - 0,6 Hz). En DWT, el cuadrado de la desviación estándar de los coeficientes wavelet en cada nivel es concordante con la potencia espectral de ese nivel. LF y HF también se expresaron como unidades normalizadas (u.n.) de la siguiente manera: LF (u.n.) potencia LF en unidades normalizadas LF (u.n.) = $100 \times LF / (LF + HF)$, que expresa la contribución relativa de LF dentro del rango LF + HF; HF (u.n.) potencia de HF en unidades normalizadas HF (u.n.) = $100 \times HF / (LF + HF)$, que expresa la contribución relativa de HF dentro del rango LF + HF.

Se determinaron los siguientes indicadores de VFC, ya definidos y descriptos en la introducción de este trabajo. Para mayor claridad se incluyen nuevamente las definiciones en esta sección (*Tabla 3*):

Tabla 3: Indicadores de VFC

Indicador	Definición	Interpretación
Dominio del TIEMPO		
RRm (ms)	duración media de los intervalos RR	recíproco de la frecuencia cardíaca media
SDNN (ms)	desvío estándar de los intervalos RR	cuantifica la variabilidad general aproximada de la frecuencia cardíaca
RMSSD (ms)	raíz cuadrada de la media de las diferencias al cuadrado entre intervalos RR adyacentes	mide variaciones de alta frecuencia de la VFC en el corto plazo de origen parasimpático
Dominio de la FRECUENCIA		
In AT	Potencia espectral total calculada por la transformada wavelet (0.0-0.06 Hz) y expresada en unidades logarítmicas	Refleja la actividad autonómica general
In VLF (wpc)	Potencia en el rango de muy baja frecuencia calculada por la transformada wavelet (0.0023-0.0375 Hz) y expresada en unidades logarítmicas	De origen incierto se asume que dependen principalmente del flujo parasimpático
In LF (wpc)	Potencia en el rango de baja frecuencia calculada por la transformada wavelet (0.0375-0.15 Hz) y expresada en unidades logarítmicas	Originadas por el barorreflejo, dependen de influencias simpáticas y parasimpáticas.
In HF (wpc)	Potencia en el rango de alta frecuencia calculada por la transformada wavelet (0.15-0.6 Hz) y expresada en unidades logarítmicas	Originadas por la arritmia sinusal respiratoria, dependen de influencias parasimpáticas.
LH	$LH = LF / HF$	Relación entre los componentes de baja y alta frecuencia, reflejan actividad simpática.
HF (u.n.)	$HF (u.n.) = 100 \times HF / (LF + HF)$	Expresa la contribución relativa del componente HF (actividad parasimpática) dentro del rango LF + HF.
LF (u.n.)	$LF (u.n.) = 100 \times LF / (LF + HF)$	Expresa la contribución relativa del componente LF (equilibrio simpático vagal) dentro del rango LF + HF.

wpc: wavelet power coefficients.
u.n: unidades normalizadas

(Welch, 1967) (Akselrod et al., 1981) (Seely & Macklem, 2004) (Harinath et al., 2005) (Vandewalle et al., 2007) (Daniel Eduardo Vigo, 2007) (Lanfranchi et al., 2009) (Daniel E Vigo et al., 2012) (Cardinali, 2013a) (D. Vigo et al., 2013) (Xu et al., 2013) (D. Vigo et al., 2019) (Maggioni et al., 2020).

4.4.5. Nivel de alerta (Test de Vigilancia Psicomotora) durante el día

El nivel de alerta durante el día fue evaluado mediante el *test de vigilancia psicomotora* (PVT), una herramienta estandarizada que permite evaluar el estado de atención o alerta sostenida, mediante la medición de la velocidad de respuesta táctil a un estímulo visual. Una prueba simple, confiable y práctica, de uso bajo condiciones naturalísticas o de laboratorio. Puede utilizarse de forma repetida, ya que no presenta efectos de aprendizaje. Los resultados son influenciados por el nivel de fatiga y somnolencia secundario a una amplia variedad de factores, como la restricción de sueño, cambios en los patrones de sueño o el uso de medicamentos hipnóticos (Van Dongen et al., 2003) (Loh et al., 2004). Especialmente útil para evaluar el desempeño en actividades operativas que dependen del estado de la alerta y atención sostenida, como la supervisión de sistemas automatizados en fábricas o los sistemas de defensa, donde pueden verse afectadas por la pérdida de sueño de una manera diferente entre individuos y en distinto nivel que otras funciones cognitivas (Van Dongen et al., 2004) (Caldwell et al., 2005) (Kanki, 2018).

La capacidad atencional evaluada por estas pruebas es operacionalmente significativa, ya que la atención es fundamental en profesiones altamente demandantes. Además, hay amplia evidencia que muestra que los tiempos de respuesta son sensibles a la pérdida de sueño total o parcial y a las variaciones circadianas de la alerta (Van Dongen et al., 2003) (Loh et al., 2004) (Blatter & Cajochen, 2007). Se utilizó una versión adaptada y validada para su uso en computadoras tipo “netbook” del PVT de cinco minutos de duración del Instituto de Investigación del Ejército Walter Reed (USA) para evaluar el tiempo de reacción como un indicador del estado de alerta. El test mide la velocidad de respuesta (apretar una tecla de la netbook) ante la aparición de un estímulo luminoso (en la pantalla de la netbook). El sujeto previamente recibió instrucción para presionar la tecla espaciadora apenas aparece el estímulo, poniendo énfasis en la velocidad de respuesta. Cuando la tecla es apretada aparece un número en el centro que exhibe el tiempo de respuesta durante 1,5 segundos. Luego la pantalla se pone en blanco y el próximo estímulo aparece dentro de un intervalo variable de 1 a 10 segundos. El test se realizó a la mañana antes del desayuno y a la noche, antes de la cena. Previo al test se indicó un reposo de 5 minutos frente a la pantalla, registrando luego un total de 64 a 94 pruebas de aleatorias por cada medición de 5 minutos de duración.

Los indicadores de alerta cuantifican la rapidez de la respuesta psicomotora. Se informaron el promedio de cinco valores diferentes: 1) **MRT**, velocidad de respuesta en milisegundos para todas las pruebas; 2) **SRT**, desvío estándar de los tiempos de respuesta; 3) **FRT**, 10% más rápido de tiempos de respuesta; 4) **IRT**, inversa del 10% más lento de tiempos de respuesta; 5) **LRT**, porcentaje de tiempos de respuesta ≥ 500 ms (Loh et al., 2004) (Berger et al., 2008) (Diez et al., 2011) (Meltzer & Westin, 2011) (Kanki, 2018) (Mairesse et al., 2019).

4.5. Plan de análisis

Se realizó un análisis descriptivo inicial donde se expusieron los valores de las variables numéricas como media y error estándar de la media (EE), mientras que las variables categóricas como frecuencia y porcentaje. Las diferencias entre las cinco mediciones realizadas (marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre) se evaluaron mediante ANOVA de medidas repetidas. La prueba F sin corregir se informó cuando se asumió la esfericidad de acuerdo con la prueba de Esfericidad de Mauchly, en caso contrario se presentó la corrección de Greenhouse-Geisser. Las comparaciones múltiples entre mediciones se realizaron mediante la prueba post-hoc de Bonferroni. La excepción fue la acrofase media de temperatura, que se estimó mediante una prueba Z de Rayleigh y las diferencias estadísticas entre los puntos de medición se evaluaron mediante una prueba de Watson-Wheeler. Las correlaciones bivariadas entre el tiempo de reacción medio con el inicio del sueño, la duración del sueño, la eficiencia del sueño, el promedio del sueño diurno, la amplitud del ritmo de temperatura circadiana y el ángulo de fase se exploraron mediante correlación de Pearson, ajustadas para comparaciones múltiples mediante el test de Bonferroni. Luego, para probar si el ciclo sueño-vigilia o las variaciones del ritmo circadiano durante el año (es decir, la interacción entre el ciclo sueño-vigilia o el ritmo circadiano y la estacionalidad) modulan las variaciones del estado de alerta, se realizó un análisis de modelo lineal mixto. Se incluyó el tiempo medio de reacción como variable dependiente, el mes de medición como factor fijo repetido y los índices de sueño o ritmo circadiano antes mencionados como covariables (Amelia & Silva, 1997) (Park et al., 2009).

4.6. Aspectos éticos

A los sujetos participantes se les informó de la naturaleza y fines de la investigación y expresaron su conformidad mediante un consentimiento informado por escrito. Todas las mediciones fueron no invasivas y no entrañaron riesgo alguno para los sujetos que participaron. No se realizó ningún tipo de intervención experimental. La elección de participar en la campaña antártica forma parte de la carrera profesional de los sujetos que puedan participar y es totalmente independiente al estudio. Por lo antedicho, no se contempló la eventualidad de que ocurra un evento adverso asociado a la participación de un sujeto en este protocolo. La información fue tratada en forma confidencial y el reporte de resultados es estrictamente anónimo. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Nacional de Quilmes (Argentina) y se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki y sus modificaciones. Además, el estudio fue aprobado por el Comando Antártico del Ejército y por la Dirección Nacional del Antártico.

5. RESULTADOS

5.1. Variables Antropométricas

Se incluyó en el estudio a un total de 13 hombres del Ejército Argentino, con una edad promedio de 34 años (EE=0,5). Los sujetos registraron durante el año un peso promedio de $74,7 \pm 0,9$ kilogramos, un Índice de Masa Corporal (IMC) de $26 \pm 0,3$ kg/m² y una circunferencia de cintura de $87 \pm 0,8$ centímetros. El promedio anual de la frecuencia cardíaca fue de $69 \pm 0,7$ latidos por minuto (lpm), la tensión arterial sistólica $113 \pm 0,8$ mmHg y la tensión arterial diastólica $66 \pm 0,5$ mmHg. Como se observa en la *Tabla 4*, estos valores no presentaron variaciones significativas durante el año.

Tabla 4. Variables antropométricas y Cardiovasculares

	Marzo		Mayo		Julio		Septiembre		Noviembre		p
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	
Peso	74,5	2,2	74,8	2,2	74,7	2,4	75,3	2,4	74,2	2,3	0,216
IMC	26	0,7	26,1	0,7	26	0,7	26,3	0,7	25,9	0,7	0,239
Cintura	87,4	1,8	87	1,7	87,3	2	87,7	2	86,4	2,2	0,310
FC	69	5	69	4	70	7	68	6	69	5	0,871
TAS	112	6	112	6	113	6	115	7	113	7	0,269
TAD	65	5	66	4	66	5	67	4	66	3	0,678

IMC: Índice de Masa Corporal (Peso / Talla 2)

ANOVA de medidas repetidas seguido de prueba post-hoc de Bonferroni.

5.2. Ciclo sueño / vigilia

En la medición de marzo el horario de trabajo fue de 09:30 a 13:00 y de 13:30 a 19:30; en mayo de 08:00 a 14:00; en julio de 08:00 a 14:00; en septiembre de 08:30 a 14:00 y en noviembre de 08:30 a 13:00 y de 15:00 a 19:00 h. Ninguno de los sujetos ha utilizado psicoestimulantes (modafinilo) para incrementar la vigilia, mientras que el uso de café, té y mate fue de consumo libre. Tres sujetos han requerido del uso de benzodiazepinas (alprazolam, bromazepam, diazepam) por dificultades para conciliar el sueño, que no habían mejorado con intervenciones no farmacológicas; cada intervención farmacológica fue realizada a dosis bajas y durante un máximo de dos semanas (junio, julio, agosto, noviembre y diciembre). Dos de los sujetos eran tabaquistas, ambos consumían menos de cinco cigarrillos al día. La mayoría prefirió un cuarto oscuro para dormir y manifestaron despertarse con la luz natural, especialmente en la primer y última medición, donde la presencia del sol era más intensa. Solo dos sujetos han tenido el hábito de leer en la cama, con mayor intensidad en las primeras dos mediciones.

5.2.1. Actigrafía: sueño nocturno y sueño diurno

Se obtuvieron un total de 742 registros de actigrafía durante las cinco mediciones realizadas. Se descartaron 162 (21,8%) registros por diversos errores, de los cuales 157 correspondían a noches y 5 a siestas. Las causas de eliminación en su mayoría ($n=132$; 81,5%) se debieron a problemas técnicos de la medición del actígrafo (mal registro o pérdida del registro). Otras causas fueron ausencia de registro de agenda de sueño ($n=4$; 2,5%), noche de guardia ($n=8$; 4,9%), noche siguiente a la noche de guardia ($n=7$; 4,3%), siesta siguiente a la noche de guardia ($n=2$; 1,2%), diferencias mayores a 120 min entre el registro de actigrafía y la agenda de sueño ($n=9$; 5,6%).

Los períodos de *sueño nocturno* fueron 557 y se descartaron 157 (28,2%) obteniendo 400 registros de sueño nocturno válidos para su análisis. De los 13 sujetos estudiados, 12 fueron incluidos en el análisis de sueño nocturno, ya que uno presentó un registro defectuoso de actigrafía en la medición de julio y fue excluido de este análisis ANOVA de medidas repetidas. En promedio, se registraron seis noches de actigrafía por sujeto durante cada medición.

Los períodos de *siestas* fueron 185 y se descartaron cinco (2,8%), obteniendo 180 registros de siesta válidos para su análisis. Se estudiaron solo 8 sujetos, ya que un sujeto no durmió siesta durante todo el año y otros 4 sujetos presentaron períodos en los cuales tampoco durmieron siestas.

En cuanto al sueño nocturno, la *Tabla 5* muestra los resultados de cada medición. La duración media del sueño disminuyó significativamente durante la noche polar (julio) ($p < 0,002$) (*Figura 11*), mientras que se observó un inicio tardío del sueño durante el mismo período, aunque marginalmente significativo ($p < 0,051$). La hora de fin del sueño y la eficiencia de sueño nocturno (*Figura 12*) no mostraron cambios significativos a lo largo del año.

En cuanto a las siestas, la mayoría de los participantes tomaron al menos una siesta durante cada semana de medición; 11 participantes (92%) tomaron al menos una siesta semanal durante marzo, 10 participantes (83%) en mayo, julio y septiembre; nueve participantes (75%) tomaron al menos una siesta semanal durante noviembre. Un total de ocho participantes (62%) tomaron al menos una siesta semanal en todos los puntos de medición y un sujeto no tomó ninguna durante el año. La duración media del sueño diurno (*Figura 14*) y la relación entre el sueño diurno y sueño nocturno (*Figura 11*) de la tripulación duplicaron sus valores en julio en comparación con marzo, aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. En aquellas personas que tomaron al menos una siesta durante cada período de medición (en lugar de toda la tripulación), el episodio de siesta en sí (*Figura 13*) (es decir, no el promedio diario de sueño diurno), aumentó significativamente su duración con un valor máximo de 164 ± 28 minutos en septiembre (*Figura 14*) y retrasó significativamente su inicio (con un máximo en julio) y la hora de fin de siesta (con máximos significativos en julio y septiembre). La eficiencia del sueño diurno (*Figura 15*) también mostró cambios significativos (análisis post hoc no significativo).

Tabla 5. Características del Sueño

	Marzo		Mayo		Julio		Septiembre		Noviembre		p
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	
SUEÑO NOCTURNO											
Número de Noches	6,8	0,3	6,4	0,5	6,0	0,3	6,3	0,4	5,9	0,4	0,600
Inicio (HH:MM)	01:01	:14	01:11	:24	01:55	:16	01:43	:19	01:34	:18	0,051
Fin (HH:MM)	08:08	:07	07:37	:12	07:58	:12	08:10	:14	08:16	:13	0,085
Duración (min) (1)	427	14	386	19	362	15	386	20	402	17	0,002
Eficiencia (%)	95,6	0,9	93,9	1,4	94,0	2,0	93,8	1,6	97,0	0,5	0,352
SUEÑO DIURNO (*)											
Promedios diarios											
Episodios de Sueño	3,0	0,5	3,6	0,8	3,5	0,7	3,4	0,6	3,2	0,9	0,856
Duración (min)	42	8	60	14	73	22	80	18	62	21	0,366
Diurnos / Nocturnos	0,10	0,02	0,16	0,04	0,20	0,06	0,20	0,05	0,15	0,05	0,305
Promedios de episodios de sueño											
Inicio (HH:MM) (2)	14:28	:15	15:43	:21	15:38	:12	15:23	:32	15:41	:40	0,029
Fin (HH:MM) (3)	16:12	:20	17:44	:25	18:14	:21	18:07	:21	17:44	:41	0,002
Duración (min) (4)	104	8	121	12	157	15	164	28	122	13	0,006
Eficiencia (%) (5)	88,1	1,8	93,3	1,3	93,9	1,8	94,6	2,0	95,6	0,7	0,016

(*) Para el sueño diurno, los promedios diarios se calcularon promediando los valores de sueño diurno en relación a la duración del período de medición (es decir, incluidos los días con y sin sueño diurno). Los promedios de los episodios de sueño se calcularon promediando el número de episodios de siesta del período de medición (es decir, incluyendo solo aquellos sujetos que durmieron al menos una siesta durante cada período de medición, n = 8). (1) julio < marzo; (2) julio > marzo; (3) julio y septiembre > marzo; (4) julio > noviembre; (5) post-hoc: ns. ANOVA de medidas repetidas seguido de prueba post-hoc de Bonferroni.

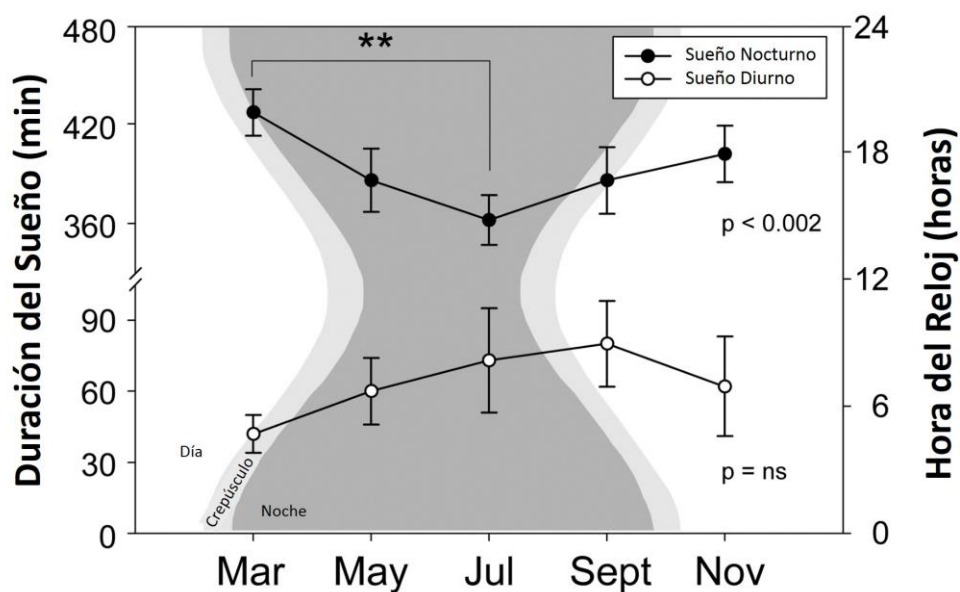


Figura 11. Duración del sueño nocturno y diurno

Duración de sueño nocturno y sueño diurno (incluidos los días con y sin sueño diurno). La duración del sueño nocturno en julio (362 minutos) fue menor que en marzo (427 minutos), $p=0,002$. La duración media del sueño diurno y la relación entre el sueño diurno y el nocturno mostraron un aumento no significativo durante el invierno.

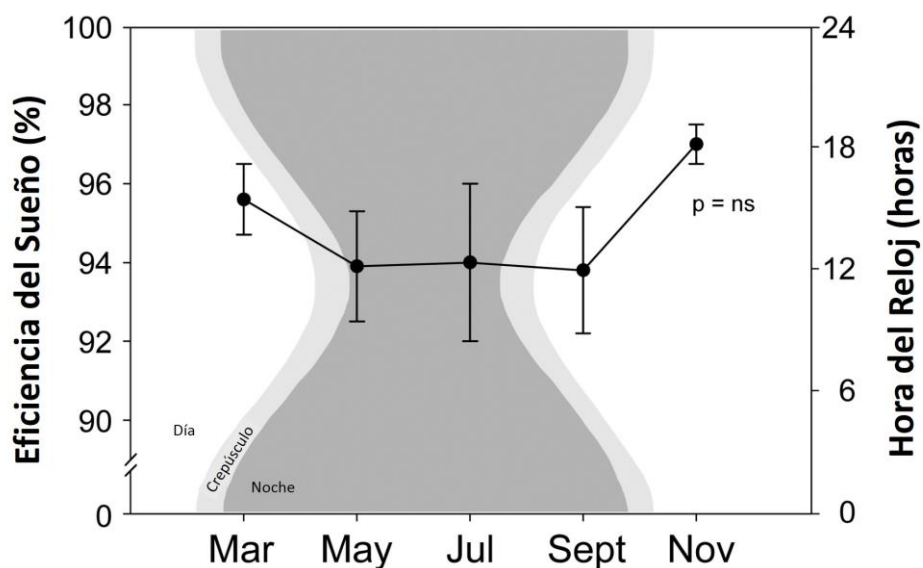


Figura 12. Eficiencia del sueño nocturno

Promedios de eficiencia de sueño nocturno (relación del tiempo total de sueño y tiempo total en cama) por cada medición. Sin diferencias estadísticamente significativas a lo largo del año.

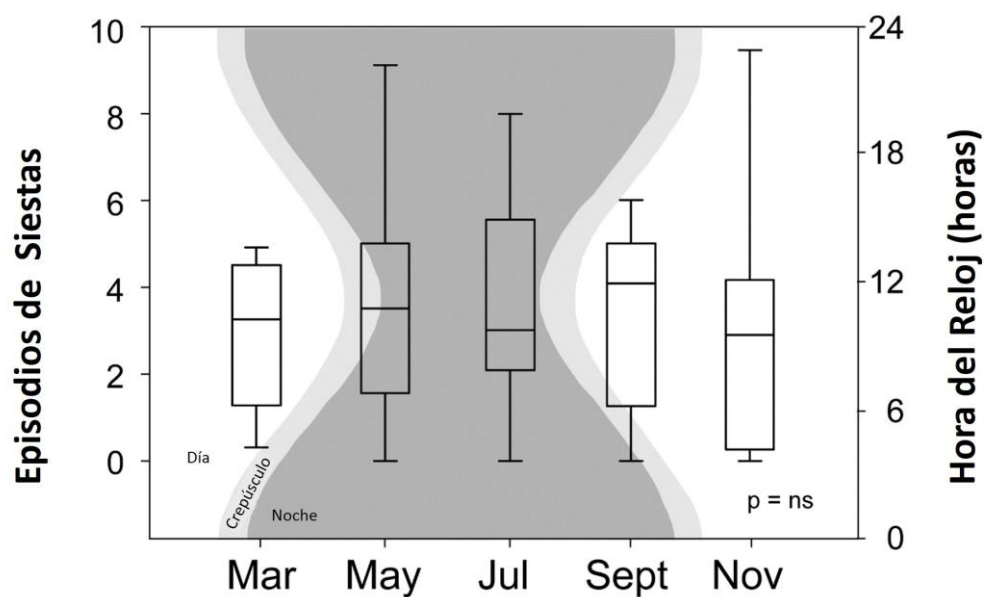


Figura 13. Episodios de siestas

Distribución de los *episodios de siesta* a lo largo del año. Los individuos tomaron alrededor de tres siestas por semana. Se muestran las medianas, los percentilos 25-75 y 10-90. Sin diferencias significativas a lo largo del año.

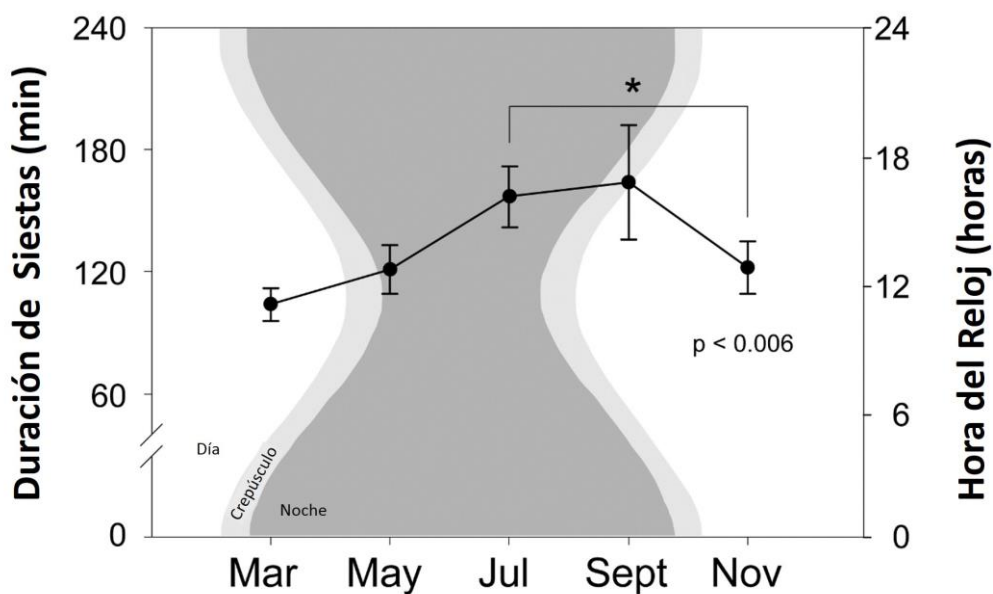


Figura 14. Duración de siestas

Promedios de *duración de sueño diurno* (incluyendo solo aquellos sujetos que durmieron al menos una siesta durante cada período de medición). La duración mayor ocurrió en septiembre (164 minutos), con una diferencia significativa en julio (157 minutos) en relación a noviembre (122 minutos), $p=0,006$.

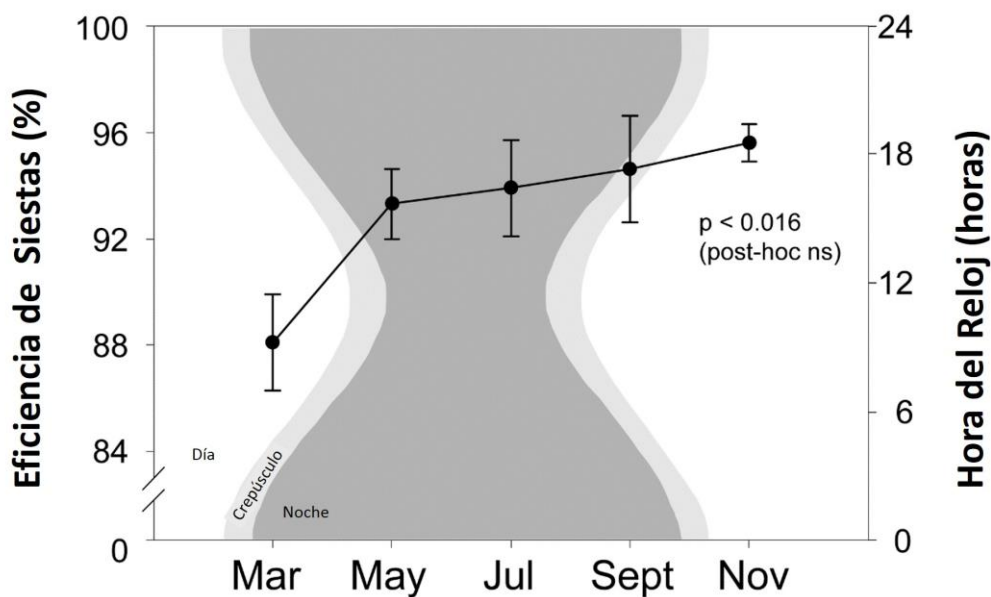


Figura 15. Eficiencia de siestas

Promedios de *eficiencia de sueño diurno* (incluyendo solo aquellos sujetos que durmieron al menos una siesta durante cada período de medición). La eficiencia (relación del tiempo total de sueño y tiempo total en cama) aumentó significativamente después de marzo y mantuvo valores medios similares a partir de entonces, análisis post-hoc no significativo.

Para todos los gráficos de sueño, las diferencias estadísticas se evaluaron mediante el test ANOVA de medidas repetidas seguido de la prueba post-hoc de Bonferroni ($p < 0,05$). En el fondo, los gráficos muestran la duración de la luz solar natural (luz diurna + crepúsculo) y los períodos de noche, según datos meteorológico aportados en:

<https://www.timeanddate.com/sun/antarctica/belgrano-ii-base>

5.2.2. Cronotipos

Se determinó para cada medición el promedio de hora de inicio, fin, duración y mediana de sueño nocturno, discriminando en días hábiles y días no hábiles o libres (*Tabla 6*). El análisis de días hábiles incluyó a los 13 sujetos y el de días libres solo a 10 sujetos, ya que hubo tres sujetos que un fin de semana no tuvieron registros actigráficos. Un sujeto tuvo registro defectuoso de actigrafía en el mes de julio y para este análisis fue reemplazado por los horarios del diario de sueño. En cuanto a los días hábiles no hubo cambios significativos durante el año en la hora de inicio de sueño nocturno, aunque la hora de levantarse fue más temprana en la medición de mayo y la duración de sueño fue menor en julio (post-hoc no significativo). En cuanto a los días libres, no hubo diferencias significativas en estos parámetros durante el transcurso del año, como así tampoco en el punto medio (indicador del cronotipo). El punto medio de sueño de los días hábiles, expresa las obligaciones sociales, tampoco sufrió modificaciones durante el año. La discrepancia entre el punto medio del sueño entre días libres y hábiles, utilizada para el estudio del Jet Lag Social, se mantuvo entre 60 y 90 minutos por medición, mientras que el Jet Lag Corregido fue de unos 60 minutos por medición, ambos valores se mantuvieron dentro de parámetros normales y no presentaron variaciones significativas durante el año.

Tabla 6. Sueño en días hábiles y días libres

	Marzo		Mayo		Julio		Septiembre		Noviembre		p
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	
Hábil – Inicio Sueño (hh:mm)	00:53	:14	01:03	:20	01:45	:16	01:24	:20	01:17	:16	0,136
Hábil – Levantarse (hh:mm) (1)	07:41	:06	07:12	:04	07:34	:10	07:32	:12	07:52	:10	0,009
Hábil – Duración (hh:mm) (2)	06:52	:13	06:09	:21	05:50	:16	06:15	:20	06:38	:16	0,007
Hábil – Punto medio (hh:mm)	04:16	:10	04:08	:10	04:38	:10	04:28	:13	04:34	:10	0,189
Libre – Inicio Sueño (hh:mm)	02:01	:22	02:12	:40	02:53	:22	02:37	:22	02:31	:19	0,765
Libre – Levantarse (hh:mm)	09:35	:22	09:10	:40	09:26	:32	09:40	:24	09:20	:20	0,475
Libre – Duración (hh:mm)	07:42	:35	06:58	:23	06:34	:19	07:03	:23	06:50	:20	0,134
Libre – Punto medio (hh:mm)	05:47	:14	05:41	:39	06:09	:26	06:09	:20	05:56	:17	0,878
Libre – Punto medio corregido	05:30	:17	05:18	:37	05:50	:23	05:43	:22	05:48	:17	0,914
Jet Lag Social	01:29	:13	01:29	:33	01:32	:23	01:26	:16	01:11	:14	0,390
Jet Lag (Corregido)	01:03	:19	00:59	:36	01:09	:22	00:50	:20	01:00	:16	0,936

Se incluyeron los 13 sujetos para los días hábiles y solo 10 sujetos en días libres. Se determinó en cada grupo hora de inicio y fin de sueño, duración y mediana, cronotipo y jet lag social. (1) post-hoc: ns; (2) post-hoc: ns. ANOVA de medidas repetidas seguido de prueba post-hoc de Bonferroni.

5.2.3. Cuestionarios de sueño

Escala de Somnolencia de Epworth (Tabla 7). Un valor de ESS no estuvo disponible y, por lo tanto, el sujeto no se incluyó en el análisis. De los 12 sujetos incluidos, cuatro han presentado puntuaciones mayores a 10 puntos, un sujeto lo refiere en todas las mediciones, otro sujeto solo en septiembre, dos sujetos en mayo y septiembre. Se encontraron valores medios normales durante todo el año, sin cambios significativos.

Índice de Calidad de Sueño de Pittsburgh (Tabla 7). Con respecto a la calidad del sueño evaluada por esta escala, tres valores de diferentes participantes no fueron informados, por lo cual se analizaron los resultados de 10 sujetos. Cuatro sujetos han presentado puntuaciones mayores a 5 puntos (mal dormidor) en diversos momentos del año (dos en marzo, tres en mayo, dos en julio, uno en septiembre y tres en noviembre), dos de ellos además expresaron mala calidad de sueño en cuatro de las cinco mediciones. Uno solo se acompañó con somnolencia diurna por cuestionario de Epworth, aunque el sujeto previamente mencionado, que refirió somnolencia en todas las mediciones, tuvo buena calidad de sueño por Pittsburgh. Finalmente, los valores globales promedios del índice de Pittsburgh, los horarios de sueño auto percibidos fueron normales durante todo el año, sin variaciones significativas.

Tabla 7. Escala de Somnolencia de Epworth (12 sujetos) e Índice de Calidad de Sueño de Pittsburgh (10 Sujetos)

	Marzo		Mayo		Julio		Septiembre		Noviembre		p
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	
ESS – Escala de Epworth	6,7	1,2	7,3	1,3	5,5	1,4	6,5	1,3	5,1	1,2	0,137
ICSP – Índice de Pittsburgh	5,10	0,53	4,70	0,37	4,40	0,43	3,90	0,38	5,30	0,56	0,240
ICSP – Hora Acostarse (hh:mm)	00:21	:18	00:24	:24	00:10	:13	00:21	:25	00:20	:20	0,885
ICSP – Latencia de Inicio (min)	8	2	13	2	15	3	35	23	11	3	0,113
ICSP – Hora Levantarse (hh:mm)	07:06	:22	06:47	:19	06:54	:14	07:06	:17	07:10	:18	0,598
ICSP – Duración (h)	06:24	:28	06:10	:18	06:10	:22	06:14	:18	06:18	:18	0,986

EES: Escala de Somnolencia de Epworth

ICSP: Índice de Calidad de Sueño de Pittsburgh

ANOVA de medidas repetidas seguido de prueba post-hoc de Bonferroni.

5.3. Ritmo circadiano de temperatura corporal periférica

Se realizó un análisis visual de los registros de temperatura y fueron descartadas aquellas mediciones de alejadas de los valores basales, que pudieran estar relacionados con la extracción del sensor para la higiene corporal o caída del mismo luego de la actividad física, representando estas menos del 10% de cada registro. El análisis incluyó los valores de temperatura de todos los días de cada medición, sin discriminar entre aquellos días donde hubo siestas y no las hubo. Como se observa en la *Tabla 8*, el análisis del ritmo circadiano de temperatura periférica muestra cambios significativos en la fortaleza del ritmo (porcentaje del ritmo explicado por el modelo) y su amplitud, con valores mayores en mayo, que descendieron durante el transcurso del año. El mesor, por su parte, tuvo un máximo valor en julio. La acrofase de temperatura periférica proximal (valor máximo) no tuvo diferencias significativas durante el año.

En cuanto al impacto de la siesta en los cálculos, al dividir los análisis en días con o sin siestas, las diferencias de los parámetros del ritmo circadiano entre grupos no alcanzaron significación estadística. Las correlaciones de la fortaleza del ritmo, la amplitud, y el ángulo de fase con la duración media del sueño diurno o la duración media de la siesta no fueron significativas. Sin embargo, las variaciones en la duración de la siesta durante el año se relacionaron significativamente con las variaciones en la fuerza del ritmo de temperatura ($p < 0,001$), con un patrón opuesto como se puede observar en la *Figura 16*. En menor medida, las variaciones medias del sueño diurno durante el año se correlacionaron con las variaciones en el ángulo de fase ($p < 0,036$).

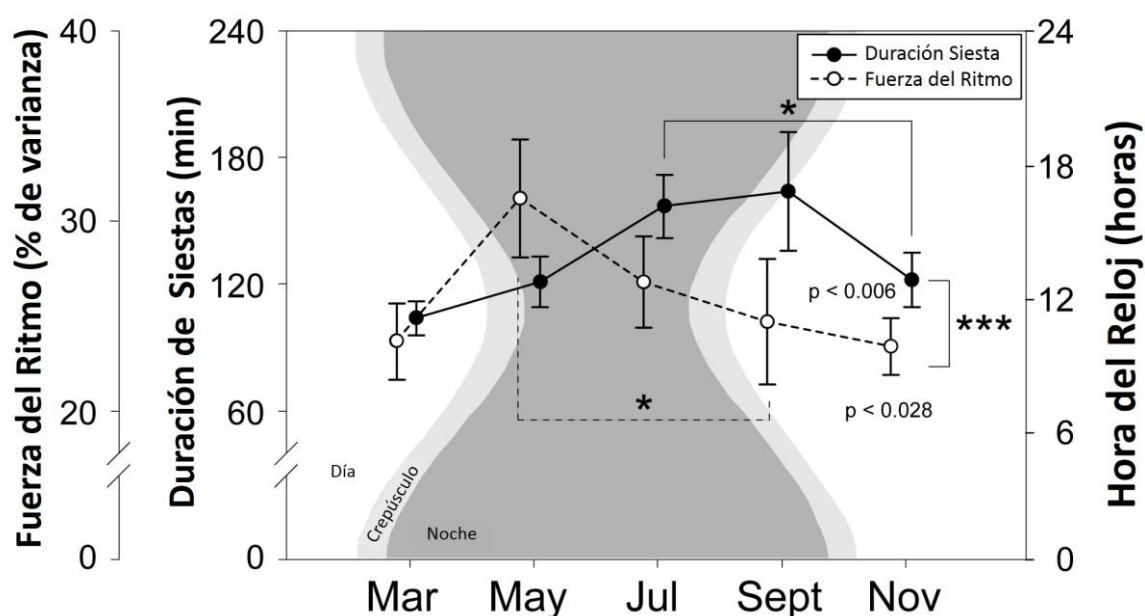


Figura 16. Fuerza de Ritmo de Temperatura y Duración de Siestas

La fortaleza del ritmo de temperatura y la duración media de la siesta no tuvieron variaciones significativas durante el año.

Aunque, las variaciones en la duración de la siesta se relacionaron significativamente y de forma opuesta con las variaciones en la fuerza del ritmo de temperatura ($p < 0,001$).

Tabla 8. Ritmo Circadiano de la Temperatura Periférica

	Marzo		Mayo		Julio		Septiembre		Noviembre		p
	Media o Mediana	EE o RI	Media o Mediana	EE o RI	Media o Mediana	EE o RI	Media o Mediana	EE o RI	Media o Mediana	EE o RI	
Global											
% Ritmo (%) (1)	22,9	2,0	30,4	3,1	26,0	2,4	23,9	3,3	22,6	1,5	0,028
Mesor (°C) (2)	33,6	0,1	33,6	0,1	33,7	0,1	33,4	0,2	33,7	0,1	0,037
Amplitud (°C) (3)	0,52	0,03	0,61	0,04	0,51	0,03	0,55	0,04	0,49	0,02	0,016
Acrofase (h)	20:54	(20:19-23:04)	20:47	(18:32-22:25)	21:07	(19:39-22:49)	19:06	(16:10-00:19)	19:33	(18:03-23:43)	0,325
Ángulo de Fase (h)	4,3	1,2	2,6	1,2	3,1	1,1	0,5	0,8	1,7	0,5	0,072
Días con siestas											
% Ritmo (%)	18,1	2,3	28,4	5,1	26,5	3,1	18,9	4,2	26,5	4,3	0,146
Mesor (°C)	33,4	0,2	33,6	0,1	33,6	0,3	33,2	0,4	33,7	0,2	0,217
Amplitud (°C)	0,51	0,05	0,61	0,07	0,56	0,04	0,49	0,06	0,53	0,06	0,512
Acrofase (hr)	21:40	(16:45-22:59)	22:27	(19:35-00:14)	20:44	(18:28-23:21)	23:26	(16:54-00:28)	19:58	(18:59-01:15)	0,958
Ángulo de Fase (hr)	2,6	2,7	0,9	1,8	1,6	2,6	-1,4	2,1	1,2	1,0	0,511
Días sin siestas											
% Ritmo (%)	25,0	4,3	31,2	5,3	32,7	4,0	25,1	5,0	22,2	1,9	0,114
Mesor (°C) (4)	33,9	0,2	33,6	0,2	33,9	0,2	33,4	0,2	33,8	0,2	0,020
Amplitud (°C)	0,50	0,04	0,61	0,07	0,57	0,08	0,56	0,08	0,49	0,02	0,351
Acrofase (hr)	23:04	(20:14-03:46)	20:38	(16:29-21:48)	22:29	(18:06-23:08)	20:18	(16:55-23:16)	20:02	(17:59-00:59)	0,836
Ángulo de Fase (hr)	5,0	1,3	2,4	2,7	3,7	1,3	2,3	0,3	1,1	1,2	0,438

Los valores se expresan como media $\pm$ EE, excepto para los valores de acrofase, que se expresan como mediana y rango intercuartílico (RI). (1) mayo > septiembre; (2) julio > septiembre; (3) mayo > noviembre; (4) julio > mayo. Diferencias evaluadas mediante ANOVA de medidas repetidas seguido de la prueba post-hoc de Bonferroni, con la excepción de las diferencias de acrofase, que se evaluaron mediante una prueba de Watson-Wheeler.

5.4. Regulación autonómica del ritmo sinusal (diferencia día / noche)

La prueba de ortostatismo (*Tabla 9*) realizada durante la mañana, no evidenció variaciones significativas de TAS, TAD y FC durante el transcurso del año. Aunque, al observar las variaciones de estos valores, se observaron algunas diferencias estadísticamente significativas; la FC durante el mes de julio se incrementó 15 latidos por minuto al pasar a la posición de pie y esperar tres minutos, mayor a la observada durante el mes de mayo y septiembre. Por otra parte, la TAS durante el mes de septiembre incrementó 5 mmHg al pasar a la posición de pie y esperar tres minutos, mayor a lo registrado en mayo (caída de 2 mm Hg).

Tabla 9. Prueba de Ortostatismo

	Marzo		Mayo		Julio		Septiembre		Noviembre		p
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	
TAS 0 m	117	3	119	3	118	2	117	2	118	1	0,982
TAS 3 m	116	3	117	3	119	2	122	3	115	3	0,326
TAS variación (1)	-1	9	-2	8	+1	10	+5	9	-3	11	0,040
TAD 0 m	64	2	67	2	62	2	65	2	64	2	0,226
TAD 3 m	73	2	72	2	74	2	75	2	75	2	0,892
TAD variación (2)	+9	2	+5	2	+12	3	+10	3	+11	3	0,049
FC 0 m	64	2	62	1	65	2	63	2	63	2	0,228
FC 3 m	76	2	71	2	80	2	72	2	73	2	0,075
FC variación (3)	+12	5	+9	5	+15	3	+9	6	+10	7	0,002

(1) septiembre > mayo; (2) post-hoc: ns; (3) julio > noviembre, julio > mayo.

ANOVA de medidas repetidas seguido de prueba post-hoc de Bonferroni.

Para el análisis de la VFC mediante la *transformada de onda discreta* (DWT), los fragmentos de media hora a lo largo del día, fueron promediados según el periodo de sueño o de vigilia, determinados por actigrafía (*Tablas 10-11 y Figura 17*) y se calcularon las diferencias autonómicas día-noche (*Tabla 12 y Figura 17*). Los periodos de sueño diurno se clasificaron como siestas y fueron excluidos del promedio del análisis de vigilia.

No se observaron diferencias significativas para ninguno de los indicadores de VFC durante la observaron vigilia (*Tabla 10*) ni durante el sueño (*Tabla 11*). Al analizar las diferencias vigilia-sueño (*Tabla 12*), solamente se observaron diferencias en la *potencia espectral total* (área total) o variabilidad global. Si bien visualmente (*Figura 17*) se observa un aumento de esta diferencia en la medición de noviembre, el análisis post-hoc no fue significativo.

Tabla 10. VFC durante los periodos de vigilia (durante el “día”)

	Marzo		Mayo		Julio		Septiembre		Noviembre		p
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	
RRM	783	23	806	23	781	26	805	30	767	29	0,667
SDNN	74	5	72	4	66	5	69	3	70	4	0,140
RMSSD	35	4	36	4	33	4	35	3	33	4	0,512
AT	17,85	0,06	17,90	0,06	17,82	0,06	17,88	0,07	17,74	0,08	0,272
VLF	14,97	0,06	15,02	0,06	14,91	0,07	14,97	0,06	14,92	0,06	0,572
LF	10,61	0,08	10,62	0,09	10,48	0,13	10,58	0,10	10,55	0,10	0,449
HF	8,08	0,17	8,11	0,17	7,94	0,21	8,07	0,16	7,95	0,19	0,326
LH	13,89	1,52	13,44	1,41	13,92	1,40	13,50	1,27	14,61	1,49	0,531
HF un	8	1	8	1	8	1	8	1	7	1	0,482
LF un	92	1	92	1	92	1	92	1	93	1	0,482

EE: Error Estándar de la Media. RRM: duración media de los intervalos RR en ms. SDNN: desvío estándar de los intervalos RR en ms. RMSSD: raíz cuadrada de la media de las diferencias al cuadrado entre intervalos RR adyacentes. AT: area total (variabilidad total). VLF: potencia en el rango de muy baja. LF: potencia en el rango de baja frecuencia. HF: potencia en el rango de alta frecuencia. LH: relación entre los componentes de baja y alta frecuencia ($LH = LF/HF$). HF un: HF expresado como unidades normalizadas (un). LF un: LF expresado como unidades normalizadas (un). ANOVA de medidas repetidas seguido de prueba post-hoc de Bonferroni.

Tabla 11. VFC durante los periodos de sueño “nocturno”

	Marzo		Mayo		Julio		Septiembre		Noviembre		p
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	
RRM	965	29	966	23	954	37	967	14	1025	25	0,238
SDNN	75	7	76	6	75	8	77	6	76	7	0,989
RMSSD	38	5	39	6	35	6	40	6	42	7	0,436
AT	18,27	0,06	18,27	0,04	18,24	0,08	18,28	0,03	18,38	0,05	0,273
VLF	15,31	0,07	15,32	0,05	15,27	0,09	15,34	0,03	15,41	0,07	0,392
LF	10,69	0,12	10,69	0,13	10,67	0,18	10,78	0,12	10,77	0,15	0,713
HF	8,27	0,24	8,27	0,22	8,09	0,26	8,29	0,22	8,40	0,23	0,346
LH	12,59	1,41	12,49	1,35	14,08	1,22	13,74	1,78	12,03	1,54	0,307
HF un	9	1	9	1	7	1	9	1	9	1	0,220
LF un	91	1	91	1	93	1	91	1	91	1	0,220

EE: Error Estándar de la Media. RRM: duración media de los intervalos RR en ms. SDNN: desvío estándar de los intervalos RR en ms. RMSSD: raíz cuadrada de la media de las diferencias al cuadrado entre intervalos RR adyacentes. AT: area total (variabilidad total). VLF: potencia en el rango de muy baja. LF: potencia en el rango de baja frecuencia. HF: potencia en el rango de alta frecuencia. LH: relación entre los componentes de baja y alta frecuencia ($LH = LF/HF$). HF un: HF expresado como unidades normalizadas (un). LF un: LF expresado como unidades normalizadas (un). ANOVA de medidas repetidas seguido de prueba post-hoc de Bonferroni.

Tabla 12. Diferencias vigilia / sueño en la VFC

	Marzo		Mayo		Julio		Septiembre		Noviembre		p
	Media	EE	Media	EE	Media	Media	EE	Media	EE	Media	
RRM (1)	-182	22	-161	20	-173	23	-162	31	-257	31	0,041
SDNN	-1	5	-4	3	-9	4	-8	4	-6	6	0,401
RMSSD	-3	2	-3	2	-3	2	-5	3	-10	4	0,194
AT (1)	-0,42	0,05	-0,37	0,04	-0,43	0,05	-0,39	0,07	-0,65	0,09	0,011
VLF	-0,33	0,05	-0,29	0,04	-0,36	0,04	-0,36	0,06	-0,48	0,07	0,138
LF	-0,08	0,11	-0,07	0,07	-0,19	0,09	-0,19	0,09	-0,22	0,12	0,388
HF	-0,19	0,10	-0,16	0,08	-0,15	0,09	-0,22	0,12	-0,45	0,17	0,190
LH	1,30	0,83	0,95	0,45	-0,16	0,72	-0,25	1,17	2,58	1,45	0,189
HF un	-1,01	0,64	-0,77	0,38	0,45	0,35	-0,57	0,66	-2,03	0,86	0,064
LF un	1,01	0,64	0,77	0,38	-0,45	0,35	0,57	0,66	2,03	0,86	0,064

EE: Error Estándar de la Media. RRM: duración media de los intervalos RR en ms. SDNN: desvío estándar de los intervalos RR en ms. RMSSD: raíz cuadrada de la media de las diferencias al cuadrado entre intervalos RR adyacentes. AT: area total (variabilidad total). VLF: potencia en el rango de muy baja. LF: potencia en el rango de baja frecuencia. HF: potencia en el rango de alta frecuencia. LH: relación entre los componentes de baja y alta frecuencia ($LH = LF/HF$). HF un: HF expresado como unidades normalizadas (un). LF un: LF expresado como unidades normalizadas (un).

(1) post hoc no significativos. ANOVA de medidas repetidas seguido de prueba post-hoc de Bonferroni.

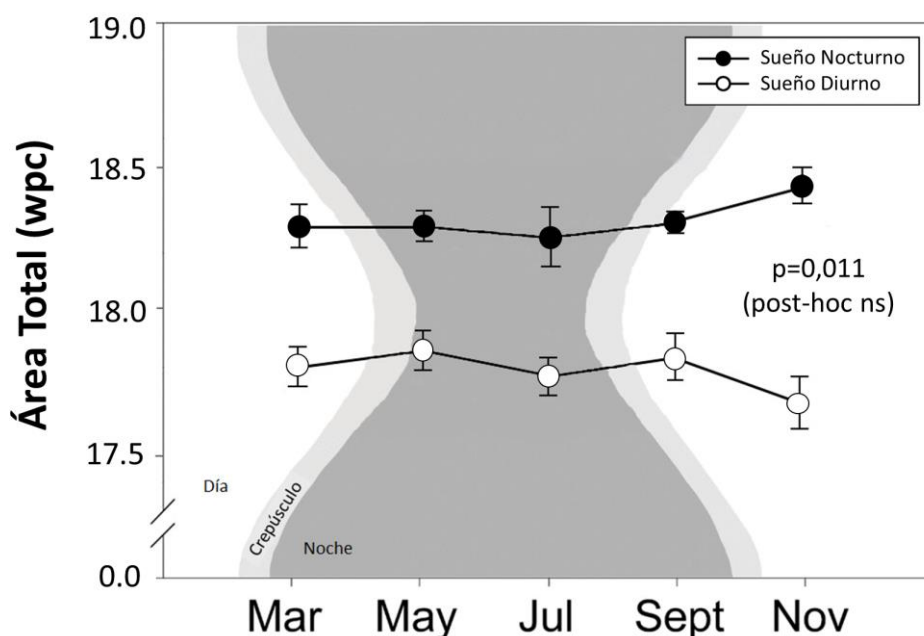


Figura 3. Variabilidad de la Frecuencia cardíaca

Diferencias vigilia-sueño en el indicador de *Área Total*, que representa la variabilidad total de la frecuencia cardíaca. Se observa un aumento de esta diferencia en la medición de noviembre, aunque el análisis post-hoc no fue significativo.

5.5. Nivel de alerta (Test de Vigilancia Psicomotora) durante el día

Se realizaron dos Test de Vigilancia Psicomotora (PVT) en los 13 sujetos durante cada medición del año, iniciándose por la mañana y por la tarde antes de cenar en el mismo día. Se analizaron los resultados según los promedios de las siguientes variables: MRT, SRT, FRT, IRT. La *Tabla 13* muestra los valores matutinos y vespertinos derivados de la administración del PVT de alerta. Ninguna de las variables analizadas evidenció cambios significativos a lo largo del año.

Al buscar asociaciones de los patrones de sueño y del ritmo circadiano de la temperatura con el estado de alerta en cada medición, no se encontró ninguna correlación estadísticamente significativa. Sin embargo, los resultados de los análisis de modelos lineales mixtos, revelaron un efecto significativo de la época del año en la asociación de MRT matutino con el ángulo de fase ($p < 0,019$) y en la asociación de MRT vespertino con el inicio del sueño ($p < 0,004$), amplitud del ritmo de temperatura ($p < 0,027$) y ángulo de fase ($p < 0,001$) (no mostrado).

Tabla 13. Nivel de Alerta (PVT)

	Marzo		Mayo		Julio		Septiembre		Noviembre		p
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	
Mañana											
MRT (ms)	284	8	290	15	284	11	282	11	286	13	0,470
SRT (ms)	83	10	129	22	111	23	93	18	94	19	0,917
FRT (ms)	209	5	205	6	204	4	205	4	206	6	0,161
IRT (1/ms)	2,36	0,08	2,27	0,11	2,48	0,17	2,45	0,15	2,36	0,17	0,839
LRT (%)	2,2	0,5	4,6	1,9	2,5	0,8	2,4	0,8	3,0	0,9	0,615
Tarde											
MRT (ms)	294	13	291	16	305	21	292	12	301	20	0,869
SRT (ms)	130	25	124	26	107	26	92	19	112	25	0,325
FRT (ms)	209	8	203	5	209	6	210	5	210	8	0,382
IRT (1/ms)	2,24	0,13	2,38	0,19	2,28	0,21	2,39	0,14	2,35	0,22	0,601
LRT (%)	3,6	0,8	3,4	1,4	4,5	2,0	2,3	0,8	4,9	2,2	0,805

MRT: tiempos medios de respuesta; SRT: desviación estándar de los tiempos de respuesta; FRT: el 10% más rápido de tiempos de respuesta; IRT: inversa del 10% más lento de los tiempos de respuesta; LRT: porcentaje de tiempos de respuesta ≥ 500 ms. Todas las variables mostraron diferencias no significativas entre medidas. ANOVA de medidas repetidas seguido de prueba post-hoc de Bonferroni.

6. DISCUSIÓN

Los principales resultados de este trabajo de tesis consistieron en una disminución en la duración del sueño nocturno durante el mes de julio, con la presencia de un sueño diurno caracterizado por un retraso en la hora de su inicio y fin durante la noche polar, acompañado de un incremento en la duración de las mismas, que fue aún mayor durante el mes de septiembre. En la medición de septiembre se observó en asociación, una disminución de la fortaleza y de la amplitud del ritmo circadiano de temperatura. La prueba del nivel de alerta no presentó variaciones significativas durante la campaña anual, aunque hubo cierta influencia del confinamiento en la relación entre temperatura, sueño y alerta. A continuación, se discutirán los mismos agrupados por objetivos específicos, para dar lugar finalmente a una conclusión general.

6.1. Valores antropométricos

Nuestra muestra incluyó a 13 sujetos sanos, con una edad promedio de 34 años, un peso de 74 kilogramos y un IMC de 26 kg / m², sin variaciones significativas durante el año. Observamos además, que en los reportes de variables antropométricas informados en otros estudios de distintas bases antárticas sobre sujetos sanos de sexo masculino, los valores son similares a los registrados en nuestro estudio (*Tabla 14*) (Farrace et al., 1999) (Farrace et al., 2003) (Harinath et al., 2005) (Daniel E Vigo et al., 2012) (Premkumar et al., 2013) (D. Vigo et al., 2013) (Chen et al., 2016) (G. M. Sandal et al., 2018) (Mairesse et al., 2019) (Maggioni et al., 2020).

Tabla 14. Variables antropométricas en otros estudios

		n	Edad	Peso	Talla	IMC
Base Belgrano II (2014)	Argentina	13	34	74,7		26
(Farrace et al., 1999)	Italia	9	41	-	-	23,3
(Farrace et al., 2003)	Italia	9	36	-	-	23,6
(G. M. Sandal et al., 2018)	Francia / Italia	14	38			
(Mairesse et al., 2019)	Francia / Italia	13	35			23,9
(Maggioni et al., 2020)	Alemania	37	35	83	1,81	25,9
(Harinath et al., 2005)	India	30	33	66,8	1,71	22,7
(Premkumar et al., 2013)	India	20	39	73,4	1,71	26,1
(Chen et al., 2016)	China	17	36			
(Daniel E Vigo et al., 2012)	ESA	6	33	82	1,81	25
(D. Vigo et al., 2013)	ESA	6	34	85	1,76	27

6.2. Ciclo sueño / vigilia

Las mediciones realizadas con actigrafía del ciclo sueño vigilia evidenciaron una disminución en la duración del sueño nocturno durante el mes de julio, con una tendencia al retraso (no significativo) en la hora de inicio durante ese mismo mes. Por otra parte, los episodios de siestas tuvieron una duración mayor hacia el mes de septiembre, con un retraso en la hora de su inicio y fin durante la noche polar. Si bien la rutina y los horarios laborales (reloj social) fue mantenido con cierta estabilidad durante el año, durante la noche polar disminuyó el número de actividades en el exterior de la base y la jornada de trabajo no se extendió por la tarde, lo que pudo incrementar la posibilidad de optar por realizar siestas. Por otra parte, los cuestionarios no evidenciaron una mala calidad subjetiva de sueño ni excesiva somnolencia diurna.

La mayoría de las investigaciones sobre ciclo sueño / vigilia realizadas en Antártida evidencian también un retraso de fase circadiana durante el invierno, acompañado de una disminución en la calidad y cantidad de sueño, a expensas de un incremento de la latencia de inicio o fragmentación por incremento de la vigilia luego de iniciado el sueño (Pattyn et al., 2018). Los cuestionarios suelen expresar una menor calidad subjetiva de sueño, con una mayor dificultad para conciliar el sueño, dificultad para despertarse por la mañana y una sensación de sueño menos reparador (Gander et al., 1991).

Como ya se ha comentado, para mantener la sincronización de los ritmos circadianos con el ambiente, el reloj biológico necesita señales cíclicas (zeitgebers), siendo la principal señal la luz solar. La capacidad de sincronización puede alterarse cuando esta señal ambiental es muy débil o la duración de su porción de luz (fotoperíodo) o su porción oscura (escotoperíodo) es demasiado corta o larga en relación a la otra (Czeisler et al., 1986) (Roenneberg et al., 2019). En las latitudes extremas del norte y del sur los cambios estacionales en el fotoperíodo son más significativos, con días extensos en el verano y muy breves durante el invierno, con un amanecer más tardío. Estas situaciones ambientales debilitan la fuerza del principal zeitgeber y pueden contribuir a una mayor incidencia de cronotipos tardíos y retraso del ritmo sueño-vigilia durante el invierno, al aumentar la latitud, el ritmo de sueño-vigilia se retrasa gradualmente (Borisenkov, 2011) (Chen et al., 2016) (Roenneberg et al., 2019). Por debajo del círculo polar antártico los cambios son más intensos, durante los meses de invierno o la intensidad lumínica es muy débil y el sol puede permanecer meses por debajo del horizonte, lo que denominamos fotoperíodo extremo. En la Base Belgrano II, durante la noche polar del invierno registramos 116 días con el sol por debajo del horizonte e iluminación ambiental escasa.

Bajo situaciones controladas de un laboratorio, estímulos lumínicos de 200 lux durante el día y oscuridad de noche (< 8 lux) son incapaces de sincronizar los ritmos circadianos. Se suelen requerir de un estímulo lumínico de 1.000 lux en adultos sanos para mantener los ritmos circadianos en ausencia de las señales de tiempo, lo cual también depende de factores biológicos individuales (Middleton et al., 2002) (Chen et al., 2016). Las intensidades de luz ambiental durante un mediodía al aire libre varían entre 10.000 lux hasta decenas de miles de lux, dependiendo de la nubosidad y latitud. El interior de las bases antárticas las intensidades lumínicas rondan entre los 50 y 500 lux, lo que puede no ser suficiente para sincronizar los ritmos. Durante el invierno antártico la exposición lumínica se limita a esta iluminación artificial, que podría resultar muy débil para ajustar los ritmos a 24 horas (Roenneberg et al., 2003).

Para comprender mejor estas alteraciones, se han estudiado los ritmos circadianos en personas con ceguera. Los trastornos del sueño, la desincronización circadiana y la presencia de un ritmo libre (free-running) son muy frecuentes en esta población. Un estudio realizado por Skene et al. (1997) intentó comprender esta desincronización circadiana relacionando los ritmos de sueño con la producción de melatonina, a través de su metabolito urinario 6-Sulfatomelatonina (aMT6s). Los valores se consideraron “normales” cuando su acrofase se encontraba entre las 00:00 y 06:00 h, “fuera de fase” cuando ocurrían entre las 06:00 y 00:00 h. La mayoría tuvo un ritmo de secreción libre de aMT6s, con una fase que se retrasaba dos a ocho horas por semana. Se compararon la cantidad de siestas y su duración cuando la acrofase de aMT6s estaba en fase y cuando estaba fuera de fase; la mayoría realizó siestas cuatro horas antes o después de la acrofase de aMT6s, cuando los valores de melatonina eran elevados. Cuando el ritmo de aMT6s pasó por su fase normal (00:00 a 06:00 h), los sujetos tuvieron mayor duración de sueño nocturno, menos siestas y de menor duración. Las siestas tendieron a ser más largas, desorganizadas y frecuentes en los sujetos con ritmos alterados de melatonina, aun cuando estaban ocupados con una rutina diaria de trabajo. El tiempo de inicio del sueño nocturno también sufrió un retraso cuando la fase del ritmo de aMT6s estaba retrasada (06:00-12:00 h), con un adelanto cuando la fase de aMT6s se adelantaba a 18:00-00:00 h. Podría también entenderse que las siestas son compensadoras de un mal sueño nocturno, pero los tiempos de siestas deberían ser más irregulares y no guardar relación con los ritmos de aMT6s, pero el patrón de siestas no fue irregular y sí guardó relación con los valores de aMT6s. En sujetos con ritmo libre, el ritmo de aMT6s comienza a desplazarse y el pico de secreción puede coincidir con el día, donde el sueño nocturno es menor y las siestas tienen una mayor duración. Hubo una correlación negativa entre la duración de las siestas y la duración del sueño nocturno, confirmando que el sueño se encuentra bajo un control circadiano. En sujetos ciegos con ritmos libres, los tiempos de sueño guardan una estrecha relación con los valores de melatonina (Lockley et al., 1997). Estos resultados guardan una relación estrecha con nuestros resultados, porque las siestas tuvieron una mayor duración al final la noche polar, cuando el ritmo circadiano de temperatura mostró una menor fuerza y amplitud, sugiriendo que la desincronización circadiana también pudo relacionarse con siestas de mayor duración.

La totalidad de la tripulación de Base Belgrano II presentó un cronotipo tardío, con un punto medio de sueño durante los días libres luego de las 05:00 horas, sin variaciones significativas durante el año. La discrepancia entre el punto medio de sueño entre días hábiles y libres fue aproximadamente de 60 a 90 minutos y sin variaciones significativas durante el año. Un cronotipo tardío expresa un sistema circadiano ajustado a poco más de 24 horas, como se observa ante la pérdida de las señales cíclicas de iluminación natural (Paine et al., 2006) (Roenneberg et al., 2007) (Roenneberg & Merrow, 2007) (Borisenkov, 2011) (Roenneberg et al., 2019). Estos resultados se aproximan también a los encontrados en un grupo de 17 estudiantes universitarios que realizaron una estadía de nueve días en la Base uruguaya Artigas (edad: 23 años), con un punto medio de sueño corregido obtenido mediante diarios de sueños de 6,1 horas y una discrepancia de punto medio entre días libres y laborales de 1,91 horas; el cronotipo más tardío en esta población probablemente estén influenciados por la menor edad de los sujetos, considerando además que no hubo período de adaptación desde la llegada al continente y que durante los primeros días luego del arribo las actividades suelen prolongarse hasta elevadas horas de la noche (Tassinio et al., 2016).

Una serie de estudios en diversas bases antárticas, también llamadas estaciones, han utilizado actigrafía para evaluar los patrones de sueño, algunos durante campañas de verano y otros durante campañas anuales. Nuestros resultados arrojan hallazgos similares durante el invierno polar; la mayoría de los estudios refiere una disminución del tiempo total y eficiencia del sueño, con un retraso en la hora de inicio durante el invierno. No encontramos estudios de actigrafía que analicen puntualmente sueño diurno en Antártida.

La Base Halley Bay (75° S) del Reino Unido se encuentra próxima a Belgrano II y a 1.600 km del polo sur, también presenta tres meses de noche polar (mitad de mayo a mitad de agosto), donde no hay exposición a la luz natural del Sol y se obtiene la iluminación de forma artificial. Nos resultan muy interesante los estudios de Base Halley, por tratarse de la más próxima a Belgrano II, con una población similar en cantidad y edad, pero diferente en hábitos culturales. Un estudio durante el año 2002, con una metodología similar a la que hemos utilizado en nuestro estudio, involucró también a 13 sujetos. Utilizaron un actígrafo desde marzo a octubre, en la mano no dominante y fuera de la ropa (excepto durante el baño), evitando exposiciones menores de -12°C para preservar las baterías. También completaron un diario de sueño con la hora de acostarse, latencia del sueño, despertarse nocturnos, hora de despertarse y de levantarse y calidad de sueño. Recolectaron muestras de orina cada cuatro horas para determinar del ritmo circadiano de melatonina a través de su metabolito urinario (aMT6s). Cada semana un miembro de la dotación realizaba tareas de guardia nocturna para control de incendios, por lo que estos datos y las tres semanas siguientes fueron excluidos. Para el análisis de actigrafía, de los 13 sujetos, tres fueron excluidos del análisis por fallas en el equipo o incumplimiento del protocolo. Encontraron un aumento en la latencia de inicio del sueño y una disminución de la eficiencia durante el invierno, más acentuado durante los fines de semana, cuando no se exigía un horario para levantarse, por lo que lo hacían más tarde y dormían más tiempo (Francis et al., 2008a).

Los estudios en Base Halley Bay se han centrado en el uso de luminoterapia durante la noche polar. La iluminación de la base provee una intensidad máxima de 300 a 800 lux, mientras que la exposición natural en un día nublado de verano en esta localización puede ser de 32.000 lux. Durante la noche polar se registró una luminosidad de 30 lux en el exterior y 500 a 600 lux en el interior de la base, por debajo de los 1.000 lux necesarios para mantener los ritmos circadianos sincronizados. En esta base durante los meses de invierno se ha encontrado un retraso de fase en el ritmo del sueño y de secreción de melatonina, que se relacionaría con una insuficiente exposición a la luz solar. Han investigado también el uso de luminoterapia como una contramedida, con lámparas de luz artificial de 5.300 lux y 10.000 lux durante cuatro semanas, colocadas en cada una de las habitaciones y en las salas comunes, que encendían durante la mañana al levantarse y durante cualquier otro momento del día hasta las 18 horas, pero no durante la noche. La exposición a la luz ambiental durante la noche polar se duplicó con el uso de estas lámparas, sin embargo, no fue suficiente para ajustar el ritmo de sueño y de melatonina. Pero como la latencia de sueño fue más corta y la eficiencia mejoró sutilmente, probablemente ocurrió un sutil avance del sistema circadiano con esta intervención. La luz intensa brindaría señales de tiempo para el mantenimiento de los ritmos circadianos en la Antártida, aunque depende de factores físicos de la misma, como su intensidad, duración, composición espectral y momento de la exposición. También consideran que son muy relevantes además las señales sincronizadoras sociales,

que determinan el horario para levantarse, acostarse, descansar y realizar las comidas (Farrace et al., 2003) (Francis et al., 2008a).

La contramedida para tratar la desincronización circadiana más utilizada ha sido la exposición a la luz, tanto en forma de luz blanca brillante como de luz blanca enriquecida con azul (Gander et al., 1991). Un estudio en Base Halley evaluó los efectos de exposiciones a luz blanca enriquecida en azul (17.000 k) en comparación con las lámparas blancas estándar (5.000 k) para iluminar los sitios comunitarios y habitaciones individuales. Se realizaron exposiciones de cuatro semanas con cada luz, con tres semanas de control antes y después de cada exposición. El inicio del sueño evaluado por actigrafía y diarios de sueño, fue 19 minutos más temprano y la latencia del sueño unos cuatro minutos más corta con la luz enriquecida en azul, evidenciando un mayor adelanto de fase circadiana con luz enriquecida en azul, aunque la duración, eficiencia y calidad del sueño no sufrió cambios con ambas condiciones de luz (Mottram et al., 2011). En la misma base, un estudio similar con exposición a la luz blanca de alta intensidad de 5.300 lux (Philips Bright Light Devices), utilizó un protocolo de exposición a una hora por la mañana (08:30 a 09:30 h) durante dos semanas antes y después del solsticio de invierno. Han observado un avance en el ritmo de melatonina de 53 minutos, un adelanto de 52 minutos en la hora de despertar y 26 minutos en el inicio del sueño, una disminución de 25 minutos en la duración del sueño, sin cambios en su eficiencia. Mientras que la exposición a la luz evidencia un efecto significativo sobre el retraso de la fase de melatonina y el rendimiento cognitivo, no hubo efectos significativos sobre la eficiencia del sueño, la latencia del inicio y la fragmentación del mismo o el estado de alerta matutino. Esto sugiere que la exposición a la luz pudo ser efectiva para influir en el marcapasos circadiano, pero podría ser insuficiente para mejorar el sueño (Corbett et al., 2012).

La Base Concordia (75° S) se encuentra a 1.300 km del polo sur y a 3.233 metros sobre el nivel del mar, en ella también han estudiado los patrones de sueño por actigrafía. Un estudio analizó a diez sujetos durante una campaña de invierno; la dotación mantenía una jornada de trabajo de ocho horas diarias, durante seis días de la semana, sin jornadas extendidas ni trabajo en turnos, manteniendo horarios regulares de trabajo. Utilizaban despertador por la mañana, persianas y antifaces para recrear el ciclo de luz y oscuridad durante el verano, mientras que dependían de la luz artificial durante la noche polar. Desde mayo a julio realizaron mediciones de actigrafía + diarios de sueño y melatonina en saliva, evaluando el impacto de la exposición a una luz estándar con una composición espectral de 12% luz azul (160 lux: 4.100 k) durante dos semanas versus una luz blanca enriquecida con azul con una composición espectral de 42% luz azul (171 lux: 17.000 k) durante otras dos semanas. Las luces se colocaron en el comedor, las zonas recreativas, las habitaciones y donde los sujetos pasaban la mayor parte de su tiempo. Observaron un retraso significativo en la hora de acostarse y en la secreción de melatonina, que se normalizaba con la exposición a luz enriquecida, sin cambios en la hora de despertar ni en la eficiencia de sueño, por lo que la duración del sueño fue mayor con la intervención lumínica. Esta intervención lumínica durante el día es capaz de corregir o evitar el retraso de la fase circadiana y la pérdida de sueño durante el invierno polar. La novedad de este estudio es que ha utilizado una luz de una misma intensidad con una exposición continua en diversas habitaciones de la base, mientras que otros estudios han evaluado la exposición a una luz enriquecida en azul de elevada intensidad durante 30 a 60 minutos por la mañana. Esta exposición crónica no cronometrada a la luz ambiental de toda

la base tiene la ventaja de no limitarse a una exposición fija y en determinado sitio de la base (fototerapia), que por cuestiones operativas no siempre es posible (Najjar et al., 2014).

En la base Concordia, los cambios fisiológicos se podrían deber a la Hipoxia (por su altitud), por estrés del aislamiento (proximidad al polo sur) o alteraciones del ritmo circadiano (ciclo luz-oscuridad alterado). Bajo una hipoxia hipobárica, la caída en la presión arterial de oxígeno inicia una cascada de respuestas que desencadenan un aumento de la ventilación alveolar y de la actividad simpático adrenal. Esto se asociaría con una disminución de la eficiencia y duración del sueño, junto con un mayor tiempo de vigilia luego de iniciado el sueño. Sin embargo, los efectos hipóxicos sobre el sueño podrían verse confundidos o fortalecidos por los efectos debidos a la alteración del fotoperíodo y al confinamiento. Esto remarca la necesidad de extender las investigaciones a otros análogos espaciales. Como se ha mencionado previamente en el planteo del problema, la base argentina Belgrano II comparte con Concordia las características de aislamiento y fotoperiodicidad (4 meses de noche polar), al mismo tiempo que se encuentra ubicada a nivel del mar (250 msnm), con una distancia similar al polo sur (1.300 km). Esto la posicionaría a la base Belgrano II en un lugar ideal para el desarrollo de estudios fisiológicos propios y como control de los llevados a cabo en Concordia (Angerer, 2012) (Mulder, 2012) (Pagel & Choukèr, 2016) (Collet et al., 2016) (Zivi et al., 2020).

En relación a esto, un estudio de Collet et al. (2015) analizó patrones de sueño en dos bases francesas ubicadas a diferentes alturas, Dumont D'Urville (66° S) emplazada sobre el nivel del mar y Concordia a más de tres mil metros sobre el nivel del mar. En la base Dumont D'Urville, el tiempo total de sueño fue más largo, la eficiencia del sueño fue mayor y el tiempo de vigilia luego de iniciado el sueño fue menor, en comparación a la base Concordia, lo que sugiere una influencia negativa de la altitud en la calidad del sueño. En cuanto a la estacionalidad, se observó un deterioro generalizado de la calidad del sueño durante el verano respecto al invierno, con una mayor fragmentación del mismo (Collet et al., 2016). Un estudio similar, publicado por Kawasaki et al. (2018), se describen los hallazgos de los patrones de sueño por actigrafía en dos bases antárticas, Halley VI y Concordia, con el objetivo de analizar posibles diferencias por sus distintas altitudes, estando la base Halley a nivel del mar. Observaron durante el invierno un retraso en la hora de inicio y hora de fin de sueño, sin detectar diferencias significativas en los parámetros circadianos y de sueño entre ambas bases antárticas, por lo que interpretan que la hipoxia no guarda relación con el retraso de fase circadiano observado durante el invierno polar (Kawasaki et al., 2018).

Un estudio de la Agencia Espacial Europea (ESA) en la Estación Concordia analizó parámetros de sueño, somnolencia diurna, fatiga y rendimiento psicomotor en 13 sujetos durante una estadía prolongada de 13 meses en Antártida. Se realizaron mediciones a fines del verano, a principio de invierno, a fines de invierno y al inicio del verano. Evaluaron sueño a través de una polisomnografía, el nivel de alerta a través de una prueba de tiempo de reacción, la somnolencia subjetiva por cuestionarios. Por cuestiones operativas seis de los sujetos debían mantener horarios regulares de sueño, mientras que los siete restantes tenían libertad para optar por sus horarios preferidos. Los primeros se acostaron y levantaron más temprano, especialmente durante la temporada de invierno polar. Sin embargo, la latencia de inicio fue mayor, pese a no encontrarse diferencias en la duración y arquitectura del sueño entre ambos grupos. Los sujetos con horarios flexibles tenían una latencia de inicio menor y una hora de inicio de sueño más tardía, especialmente durante la noche polar, lo que sugiere un retraso del ritmo circadiano de sueño en consecuencia de la exposición prolongada a

fotoperíodos extremos. Los parámetros de sueño, como las medidas subjetivas de somnolencia y fatiga se mantuvieron de forma estable a lo largo del año (Mairesse et al., 2019).

Estadías en Antártida sin horarios estructurados, con horarios de trabajo y descanso libre, puede favorecer al desarrollo de un ritmo circadiano libre durante el invierno, como se ha observado en una campaña de Greenpeace en la Isla de Ross (Kennaway & Van Dorp, 1991). Por el contrario, en personal militar desplegado en una base de la Fuerza Aérea de Noruega, con horarios estrictos de sueño y de trabajo, no encontraron diferencias en los ritmos de sueño y cortisol a lo largo del año (Weitzman et al., 1975). Otro estudio británico tampoco encontró variaciones en la secreción de melatonina durante un año en base Rothera (Griffiths et al., 1986). Las señales de tiempo social fuertes podrían contrarrestar los efectos del fotoperíodo extremo. La combinación de fuertes zeitgebers no fóticos, como horarios estrictos, junto con zeitgebers fóticos de menor intensidad podrían ayudar a sincronizar el reloj biológico con un ciclo de sueño / vigilia de 24 horas y, como tal, atenuar la disminución del rendimiento debido a la desalineación circadiana en ambientes extremos (Yoneyama et al., 1999) (Francis et al., 2008a) (Mairesse et al., 2019).

En una de las bases permanentes de China, la estación Zhongshan (69° S) estudiaron a 17 sujetos durante la campaña antártica 2011. Esta base se encuentra a 2.300 km de distancia del polo sur, registró como temperatura más baja -30,1°C y presentó 62 días de sol continuo en verano y 58 días de noche completa durante el invierno (noche polar). Realizaron registros de actigrafía durante 14 días consecutivos durante cuatro períodos del año, antes de la campaña, antes del invierno, durante el invierno y luego del invierno. Encontraron un retraso estadísticamente significativo en el ritmo del sueño, comparado a las mediciones basales previas al inicio de campaña, un retraso de 1,46 horas en el inicio de sueño, 1,39 horas en el fin del sueño y 1,80 horas en el punto medio de sueño. Sin embargo, no han detectado cambios en el tiempo total de sueño, eficiencia y latencia de inicio (Chen et al., 2016).

Por su parte, en la base alemana Neumayer III (70° S), un registro de 54 sujetos entre los años 2008 y 2014 observó un retraso en la hora de inicio del sueño, un aumento de la latencia y del tiempo en la cama, junto a una disminución del tiempo total de sueño y de su eficiencia durante el invierno. El retraso en el inicio del sueño pudo ser causado por un retraso fase del sistema circadiano y en el ritmo de secreción de melatonina durante la noche polar. Un gran aporte de este estudio fue la distinción entre varones y mujeres, encontrando que en las 17 mujeres estudiadas hubo una mayor duración del sueño y una disminución de su calidad, por lo que sugieren que las mujeres podrían tener una mayor susceptibilidad al estrés psicosocial y cambios circadianos al ambiente antártico (Steinach et al., 2016). Resulta interesante la elevada cantidad de sujetos incluidos y la consideración del factor del género, no observado en otros estudios en bases antárticas.

Como se ha descrito en la introducción, los mecanismos adaptativos a situaciones de aislamiento y confinamiento pueden ser estudiados en un laboratorio bajo situaciones controladas, como ha sido el proyecto Mars500. Este proyecto analizó los efectos físicos y psicológicos de un vuelo espacial simulado, en seis sujetos alojados en un complejo de investigación de Moscú. Se mantuvieron aislados en el interior de un laboratorio que simulaba una nave espacial viajando hacia Marte durante 520 días, manteniendo similares rutinas de trabajo y reacciones ante incidentes simulados. La tripulación tuvo contacto telefónico con amigos y familiares a través de comunicaciones simuladas, con retraso de 20 minutos entre la nave y el centro de

control, simulando una misión interplanetaria. Tuvieron que aprender a mantener una convivencia, adecuando sus estados de ánimos al confinamiento, especialmente el enojo o tristeza (Ru, 2012). Según los resultados de la actigrafía el nivel de actividad disminuyó durante la misión, debido al aumento del sedentarismo y un mayor trabajo al inicio de la misión. El promedio del tiempo de sueño diario fue de 6,95 h, aumentando hacia el último trimestre. Si bien estados crónicos de menos de siete horas de sueño podrían disminuir del rendimiento e incrementar el riesgo de accidentes, el análisis grupal del nivel de alerta por la prueba PVT no mostró cambios significativos durante la misión, mejoró la velocidad de respuesta y disminuyó la tasa de errores durante la segunda mitad de la misión, lo que coincide con un mayor tiempo de sueño. De los seis sujetos del experimento, uno de ellos mostró un ritmo circadiano libre de casi 25 horas (24,98 h), otro un patrón de sueño dividido (noche + siestas prolongadas) y dos de ellos manifestaron un retraso significativo de dos horas en el inicio del sueño; junto a un deterioro en la calidad del sueño, que persistió durante la misión (Basner et al., 2013) (Beard, 2018). Predecir cómo afecta el confinamiento prolongado sobre el sueño y el rendimiento podrá ayudar en la selección de futuros astronautas. Estos resultados son similares a los observados en las expediciones polares, que también son considerados análogos espaciales para el estudio de estas variables. Aunque una vida en el continente antártico suma realismo y aislamiento mayor que el encontrado en los laboratorios controlados, donde una emergencia médica puede resolverse finalizando la simulación.

Cuando se considera la actividad en el espacio, observamos que dentro de una nave o estación espacial también se pierden las señales ambientales de tiempo. La iluminación es completamente artificial, de forma similar a una base antártica durante la noche polar. Si consideramos una nave espacial en órbita terrestre, cada ciclo de luz / oscuridad dura solo unos 90 minutos, el tiempo que se tarda en órbita en dar una vuelta alrededor de la Tierra, resultando en 16 amaneceres y puestas de sol cada 24 horas, por lo que existe una exposición a otro tipo fotoperíodo extremo y al riesgo de sufrir una desincronización circadiana. En una estadía prolongada en el espacio se han observado resultados variables, desde la conservación sistema circadiano, hasta un retraso de fase de hasta de 2 horas. El retraso de fase se asocia con las dificultades en la conciliación y duración del sueño y caída en el nivel rendimiento durante el día de trabajo. Esta variación en la gama de respuestas puede deberse a las diferencias individuales, ya que algunas personas son más susceptibles a la pérdida de sueño o a los ciclos de trabajo y descanso irregulares (Gundel et al., 1997) (Monk et al., 2001) (Dijk et al., 2001) (Garbino & Jennings, 2018) (Mairesse et al., 2019).

Al analizar los estudios del ritmo de sueño en las actividades espaciales, uno de los primeros realizados evaluó a un grupo de cuatro cosmonautas rusos en la Estación Espacial MIR durante cuatro semanas mediante polisomnografía. Han encontrado cambios en la estructura de sueño, con una menor duración y eficiencia de sueño, latencia de Inicio más prolongada, mayores despertares en sueño y mayor porcentaje de sueño profundo, junto con un retraso de fase en el ritmo de temperatura (Gundel et al., 1997). Un estudio en el Trasbordador Espacial Columbia analizó a cuatro astronautas durante 17 días bajo una tenue iluminación (<200 lux), temperaturas ambientales de 23°C, con un tiempo previsto para el sueño de ocho horas. El sueño evaluado mediante polisomnografía evidenció una disminución de la duración de seis horas, la latencia de inicio y calidad de sueño se mantuvo estable. No se observaron cambios en la amplitud y fase del ritmo de temperatura, cortisol y melatonina, evidenciando una adecuada capacidad de resistencia del sistema

circadiano (Monk et al., 1998) (G. Sandal, 2018). Es probable que el retraso de fase en la Estación MIR sea el resultado de cambios en la fuerza del zeitgeber. La disminución de la duración del sueño y del porcentaje de sueño profundo en ambos estudios puede aumentar la probabilidad de que se produzcan déficits de rendimiento cognitivo durante la vigilia y se obtenga una menor recuperación física. Cuando se toman cuidadosas medidas para garantizar un organizado horario de trabajo y descanso, es probable que no ocurra una desincronización circadiana, sin evidencia actualmente de que la microgravedad se interrumpa el sistema de circadiano en una misión de corta duración (Monk et al., 1998) (G. Sandal, 2018).

Mediciones actigráficas en astronautas del Trasbordador Espacial y la Estación Espacial Internacional (ISS), desde 2001 hasta 2011, han mostrado una reducción del tiempo destinado al sueño, de la latencia de inicio y duración del mismo. La duración media del sueño en vuelo fue de 6 horas, unos 30 minutos menos que un adulto promedio de los Estados Unidos. La noche previa a las actividades extra vehiculares (EVA), la mitad de los astronautas durmió menos de 6 horas de sueño. Hasta tres cuartas partes de los astronautas utilizaron hipnóticos, incluso lo han recibido durante la noche previa a la EVA. Los medicamentos reportaron una mejora subjetiva en la eficiencia, latencia y calidad del sueño, aunque las mejoras objetivas en la duración y eficiencia han sido mínimas. El limitado beneficio de los hipnóticos implica una serie de riesgos asociados a la somnolencia y al menor desempeño en actividades peligrosas que requieran un máximo estado de alerta y coordinación motora, con lo cual podría tener un efecto perjudicial en la seguridad y cumplimiento de la misión, comprometiendo el accionar en caso de una emergencia durante la noche o la mañana (Mallis & DeRoshia, 2005) (Barger et al., 2014) (Rajulu, 2018) (Gore, 2018). Las actividades EVA podrían ser una analogía en el ambiente antártico durante la noche polar, cuando se realizan actividades fuera de la base bajo condiciones climáticas hostiles, como un rescate ante una situación programada o de emergencia, donde el riesgo ante un mínimo error puede comprometer la vida de la tripulación o el éxito de la misión.

La NASA ha reconocido la importancia de la duración adecuada del sueño y de la sincronización circadiana, implementando contramedidas para lograr la adaptación circadiana y minimizar la pérdida de sueño. Las condiciones de aterrizaje muchas veces requirieron durante el curso de una misión, que los ciclos de sueño-vigilia avanzaran 4 a 5 h en relación con el momento del lanzamiento, con una reducción diaria de 20 a 30 minutos de los turnos de trabajo, que obliga a buscar un regreso a Tierra con el mayor nivel circadiano de alerta. La reducción del sueño observada en el espacio en ocasiones puede estar relacionada con esta reducción del ciclo de sueño, ya que un adelanto progresivo del turno de descanso puede coincidir en una zona circadiana de vigilia elevada. El fracaso del sistema circadiano para avanzar a la velocidad del ciclo programado de sueño-vigilia se reflejaría en retraso relativo de los ritmos endógenos en relación con esta rutina programada (Dijk et al., 2001) (Gore, 2018). Esta situación que pueden sufrir los astronautas en el espacio no suele ocurrir en la Antártida, ya que las actividades se organizan en base a un ciclo de 24 horas.

La exposición programada a determinados tipos de luz brillante y en especial la de menor longitud de onda (luz blanca azul enriquecida), son utilizados como una contramedida eficaz para la modificación gradual del ritmo circadiano y prevenir los déficits de rendimiento secundarios a la desincronización (Whitmire et al., 2009). La exposición a pulsos modulados de luz brillante de 10.000 lux durante 45 minutos al inicio de la noche puede llegar a generar una desincronización forzada y mantener el sistema circadiano humano hasta una hora retrasada; esto podrían usarse para tratar la desincronización circadiana asociada con los vuelos

espaciales y los trastornos del sueño asociados (Gronfier et al., 2007). Los astronautas en una nave espacial también se exponen a una iluminación natural del Sol que es muy diferente al ciclo terrestre de luz y oscuridad de 24 horas. Además, los astronautas utilizan iluminación artificial mediante tubos fluorescentes y lámparas LED, por lo que sus ritmos circadianos pueden ser alterados. Esto fue más relevante durante los 9 años de construcción de la Estación, cuando las lámparas se fueron agotando y su reabastecimiento dificultoso (Whitmire et al., 2009) (Allen et al., 2017).

Por estudios realizados en Tierra, se sabe que la somnolencia diurna secundaria a la privación de sueño y/o los trastornos del ritmo circadiano puede mitigarse mediante ciertas contramedidas, especialmente útil en aquellos para quienes la pérdida del sueño es inevitable, tanto en astronautas como personal de salud o personal militar en operaciones prolongadas. Se suele enfrentar la pérdida de sueño de muchas maneras, aumentando los niveles de actividad o con una mayor estimulación lumínica, siestas o uso de estimulantes (Bonnet et al., 2005). El efecto terapéutico de la luz fue comprobado experimentalmente en un laboratorio con exposiciones diarias de luz fluorescente de 10.000 lux durante 30 minutos a la mañana o al atardecer, en sujetos con trastornos depresivos estacionales y bajo un patrón de sueño libre. El mayor adelanto de ritmo circadiano y efecto antidepressivo se observó cuando la intervención se realizó 7,5 a 11 horas luego del inicio de la melatonina (DLMO). Debido a que la medición de DLMO puede no estar disponible en la práctica clínica, el DLMO puede inferirse, con un margen de error aceptable, a partir del punto medio del sueño. Este método no aplica a las personas que duermen "fuera de fase" con su reloj circadiano (trabajadores por turnos), sino que se limita a los que duermen bajo horarios regulares con una duración de 6 a 9 horas, comenzando entre las 10:00 y 01:00 horas, despertando entre las 05:30 y 9:00 horas. La exposición a la luz de 10.000 lux durante 30 minutos a las 2,5 horas luego del punto medio de sueño, que ocurre aproximadamente unas 6 horas luego del DLMO y puede ser utilizado como medida terapéutica para lograr un avance de fase circadiana (Terman et al., 2001).

Otra contramedida considera el uso táctico de las siestas. El descenso en el ritmo circadiano de alerta por la tarde se agudiza en las personas que tienen una privación de sueño. Una siesta de 20 minutos (Power Nap) mejora el rendimiento, sin alterar significativamente el ritmo de sueño. Cuando el sueño nocturno regular no es posible debido a las obligaciones laborales, se recomiendan siestas breves para restablecer la vigilia y mejorar el rendimiento. La estrategia de *power nap* se ha utilizado en militares y trabajadores en turnos, como el personal de enfermería y últimamente difundido a varias profesiones y trabajos de oficina (Maas & Robbins, 2010) (Farmilo, 2014) (Ajjimaporn et al., 2020) (Department of The Army, 2020).

Una siesta prolongada que desarrolle sueño profundo tiene un mayor beneficio en el nivel de alerta, pero más tardío y con una mayor inercia luego del despertar en sueño profundo (Mantua & Spencer, 2017) (Faraut et al., 2017) (Hilditch et al., 2017). Una forma de evitarlo es con las siestas menores de 30 minutos descriptas más arriba y evitando grandes privaciones de sueño durante la noche previa, disminuyendo la probabilidad de ingresar en sueño profundo N3 durante la siesta. Una de las contramedidas para acortar la inercia de sueño luego de la siesta es la toma de un comprimido de cafeína al inicio de la misma. La cafeína bloquea los receptores de adenosina, un neurotransmisor inhibitorio acumulado durante la vigilia por el consumo de energía y que genera somnolencia. Por ejemplo, el uso de 200 mg de cafeína, equivalente a dos o tres tazas de café instantáneo al momento de iniciar una siesta de 20 minutos. Al reanudar a las actividades luego de

una siesta hay que evitar un inicio rápido de tareas que requieran una acción rápida o juicio crítico, especialmente durante la primer media hora (Hilditch et al., 2016).

Por lo tanto, los efectos beneficiosos de las siestas y la cafeína pueden proporcionar un efecto aditivo en estado de alerta. Estas alternativas pueden enmascarar los déficits hasta cierto punto durante un período de tiempo limitado, pero no sustituyen la necesidad diaria de dormir en cantidad y calidad suficientes para mantener el estado de alerta, el rendimiento y el estado de ánimo. Aunque el uso de estimulantes no es ajeno a posibles efectos adversos, su uso se considerarse como una medida provisoria y ocasional contra la falta de sueño, solo cuando otras alternativas no sean factibles (Hayashi et al., 2003) (Bonnet et al., 2005).

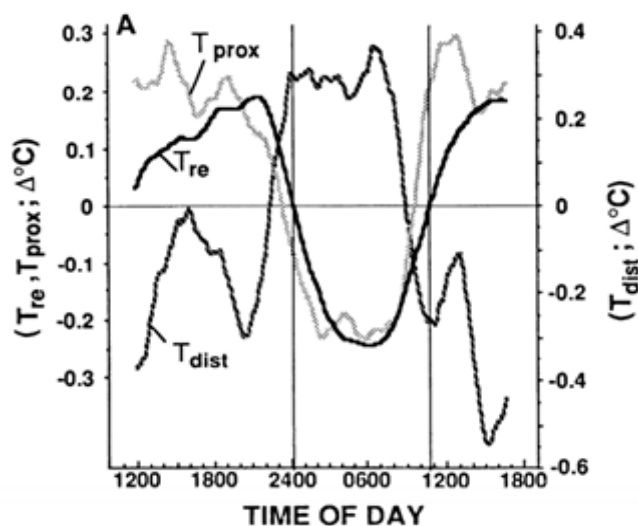
Los estudios sobre el efecto de las siestas en la salud y la mortalidad han sido controvertidos. El uso terapéutico de una siesta programada de menos de 30 minutos de duración podría tener efectos beneficiosos en adultos sanos, disminuyendo la morbilidad cardiovascular y deterioro cognitivo. Aunque existiría una asociación estadística entre personas que duermen siesta y un ligero aumento de la mortalidad, así como en la incidencia de diferentes patologías, como la apnea obstructiva del sueño y diabetes. Esta asociación es mayor en aquellas personas que duermen más de 60 minutos de siesta al día. Sin embargo, la asociación depende también del número de horas de sueño nocturno, quienes duermen menos de siete horas por noche, la siesta se correlaciona con una mejora en su supervivencia, mientras que en quienes duermen nueve horas o más, la siesta se asociaría con un aumento en la mortalidad (Takahashi, 2003) (Nieto, 2015) (Jurado Luque et al., 2016) (Mantua & Spencer, 2017) (Faraut et al., 2017).

6.3. Ritmo circadiano de temperatura corporal periférica

El ritmo circadiano de temperatura periférica evidenció cambios significativos en la fortaleza del ritmo y su amplitud, con valores mayores en mayo, que descendieron hacia la segunda mitad de la campaña antártica, mientras que el mesor tuvo un máximo valor en julio. La acrofase no tuvo diferencias significativas durante el año, como así tampoco la diferencia entre la acrofase de temperatura y la hora de inicio de sueño (ángulo de fase). Por último, a medida que se incrementó la duración de las siestas durante el año, la fortaleza del ritmo circadiano de temperatura fue menor, con una máxima diferencia en el mes de septiembre, lo que evidencia cierta desincronización circadiana en esta época del año durante la campaña antártica.

Para comprender estos datos, hay que reconocer que la temperatura presenta una variación circadiana regulada por el NSQ a través de la ganancia y pérdida de calor, que a su vez está influenciada por actividades fuera del control circadiano, como la ingesta y la actividad muscular, que pueden enmascarar el ritmo circadiano e influir en la temperatura central. Un estudio de Krauchi y Wirz-Justice (1994) evaluó la ritmicidad circadiana en la temperatura periférica de la piel distal y proximal bajo condiciones de laboratorio controladas y estables. Las curvas de temperatura periférica de piel proximal y temperatura central mostraron una morfología similar, pero inversa a las regiones distales de la piel (*Figura 18*). La temperatura de la piel (periférica) distal y proximal presenta valores opuestos y los registros demuestran imágenes casi especulares, durante la noche existen valores elevados a nivel distal y bajos a nivel proximal, con una amplitud mayor en la temperatura distal (Krauchi & Wirz-Justice, 1994). Los cambios de la temperatura de la piel distal preceden a los de la temperatura central en aproximadamente 60 minutos, lo que sugiere que la pérdida de calor de las extremidades puede impulsar la caída de temperatura central (Sarabia et al., 2008).

Figura 18. Ritmo de Temperatura en Laboratorio (Krauchi & Wirz-Justice, 1994).

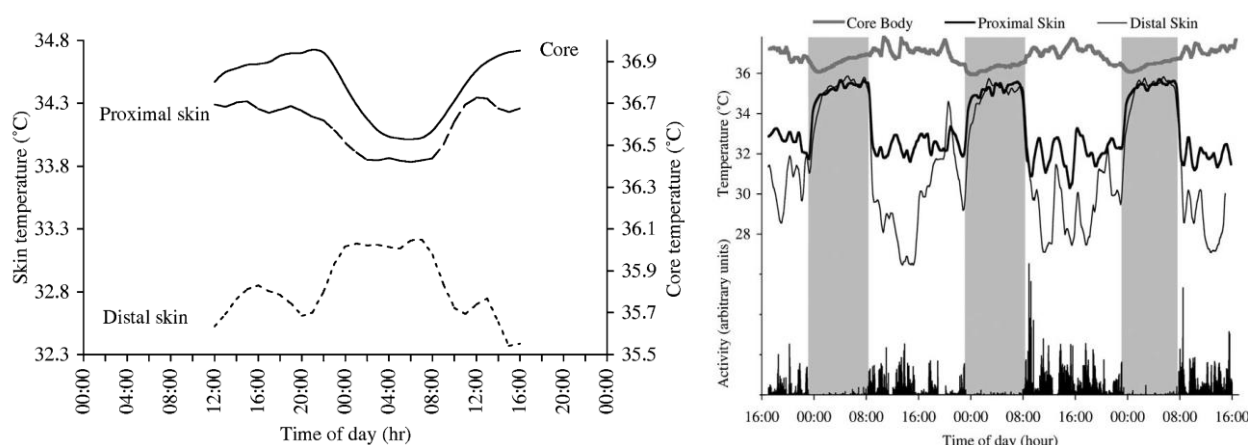


La temperatura central rectal registró un valor promedio de 36,8°C, mínimo de 36,5°C (05:00 - 06:00 h), máximo de 36,9°C (21:00 - 22:00 h), amplitud 0,4°C. La temperatura de piel distal (mano) un valor promedio de 31,7°C, mínimo de 31,2°C (14:00 - 15:00 h), máximo de 32,1°C (00:00 - 01:00 h), amplitud 0,9°C. La temperatura de piel proximal (Infraclavicular) un valor promedio de 33,8°C, mínimo de 33,4°C (06:00 - 07:00 h), máximo de 34°C (12:00 - 13:00 h), amplitud 0,6°C. Las regiones distales de la piel son sitios de pérdida de

calor y alcanzaron su máximo nivel de pérdida de calor entre las 06:00 y 07:00 h de la mañana, ya que la piel cálida promueve la transferencia de calor desde el centro del cuerpo al medio ambiente. La modulación circadiana de la temperatura central está determinada por el equilibrio entre la producción metabólica y la pérdida de calor por vasodilatación; se genera por una mayor producción de calor durante el día, de forma de satisfacer las necesidades físicas y mentales de la vigilia. Al dormir, el consumo energético es bajo, la temperatura central y generación de calor es menor. El mínimo valor circadiano de temperatura central se produce entre las 04:00 y 05:00 h de la mañana, un valor intermedio entre el mínimo de producción de calor (01:00 h) y el máximo de pérdida de calor (07:00 h) (Krauchi & Wirz-Justice, 1994). En un estudio de laboratorio similar de Cuesta et al. (2017), se observó que la melatonina tuvo su acrofase 03:19 h, el mínimo valor de temperatura de la piel proximal (infraclavicular) a las 05:39 h (amplitud 0,47°C), unos minutos después que el nadir de temperatura rectal central (05:05 h, amplitud 0,40°C); el valor máximo de temperatura de piel distal (manos) se produjo a las 03:09 h (amplitud 1,02°C), minutos antes del nadir de temperatura central (Cuesta et al., 2017).

Sin embargo, bajo condiciones naturalísticas la modulación de la temperatura es diferente, todas las temperaturas de la piel (proximal y distal) están sincronizadas con el ciclo sueño-vigilia, con valores máximos durante la noche y bajos durante el día, aunque la piel distal presenta además un segundo pico de temperatura por la tarde, entre las 14 y 18 horas, pero de menor magnitud que durante la noche (*Figura 19*). La temperatura de piel distal alcanza valores mucho más altos en condiciones naturalísticas que en laboratorio, con valores aproximados de 36°C durante el sueño, que bajan a 31 a 32°C durante la vigilia (amplitud 5°C). El ritmo de temperatura proximal resulta similar al de temperatura distal, con valores máximos que ocurren durante la noche, llegando hasta 35,7°C (Van Someren, 2006) (Sarabia et al., 2008) (Kräuchi et al., 2014) (Cuesta et al., 2017).

Figura 4. Ritmo de Temperatura Periférica. Izq: Laboratorio. Der: Natural (Van Someren, 2006).



La actividad física aumenta la producción metabólica de calor y la temperatura central durante el día alcanza niveles mucho más elevados que en el reposo de las condiciones de laboratorio. Al disminuir la producción de calor al anochecer se produce un descenso de temperatura central. En estas condiciones, tanto la temperatura de piel distal como la proximal durante la vigilia alcanzan valores más bajos que los observados bajo una condición de rutina constante, debido a un mayor tono vasoconstrictor periférico. La forma opuesta de los ritmos proximal y distal de la piel en estudios de laboratorio estaría relacionada con los mecanismos

termorreguladores y el predominio de anastomosis arteriovenosas a nivel distal. Como se dijo, las actividades y comportamientos del día pueden enmascarar los efectos de los ritmos circadianos sobre la temperatura de la piel, un despertar temprano por despertador puede enmascarar los valores circadianos de temperatura; las siestas pueden contribuir a una mayor elevación de la temperatura de la piel distal por la tarde; la actividad física modifica la temperatura distal de la piel y las temperaturas ambientales mayores a 30°C pueden enmascarar los valores reales; la ingesta de alimentos puede incrementar la producción de calor central, aunque su influencia sobre la temperatura periférica de la piel parece ser insignificante. Además, las condiciones del laboratorio no permiten crear el microclima de 34 a 35°C alrededor de la piel, mediante el uso de ropa de cama. Este microclima actúa como un aislante que permite mantener el elevado flujo sanguíneo de la piel durante la noche, la cual resulta más elevada que la temperatura cutánea del día. Los estudios de laboratorio bajo condiciones constantes suelen mantener temperaturas cercanas a los 22°C con una ligera cubierta de ropas, que podría ser adecuada para la vigilia, pero no permite crear el microclima de temperatura durante el sueño (Van Someren, 2006) (Sarabia et al., 2008) (Kräuchi et al., 2014).

El ritmo circadiano de la temperatura es una herramienta valiosa para estimar la actividad de los núcleos supraquiasmáticos como reguladores del “proceso circadiano del sueño”. Evaluar los ritmos circadianos de sueño y de temperatura resulta crucial para comprender al sistema circadiano expuesto ante fotoperíodos extremos. Hay una estrecha relación entre ambos, el sueño inicia cuando la temperatura central comienza a disminuir y finaliza cuando comienza a ascender. Aunque la somnolencia y el inicio del sueño está más estrechamente relacionados con el pico de la temperatura distal que con la temperatura central; la temperatura distal comienza a aumentar unos minutos antes de la hora habitual de acostarse, con valores máximos obtenidos luego de unos 30 minutos y que permanecen elevados de forma estable durante la noche, hasta que comienzan a disminuir de forma pronunciada luego del despertar. La mayoría de las personas están dormidas cuando la temperatura de muñeca está por encima de 34,8°C, por lo que el período de reposo también se podría deducir de los registros de temperatura (Sarabia et al., 2008).

La caída de temperatura central durante el sueño es consecuencia de la vasodilatación periférica y disipación de calor a través de la piel, aunque también hay una menor producción metabólica de calor durante el sueño. Mientras que el incremento de la temperatura de la piel refleja una respuesta autonómica de vasodilatación, la creación de un microclima alrededor de la piel que intenta evitar mayores pérdidas de calor y mantiene el elevado flujo sanguíneo en la piel (Van Someren, 2006). Por otro lado, las siestas prolongadas de una hora se asocian con un mayor aumento de la temperatura distal y de su gradiente, con un adelanto de fase del valor mínimo de la temperatura central por la noche. Las siestas podrían actuar como un enmascaramiento del ritmo de temperatura, disminuyendo su amplitud y fase, pueden generar una vasodilatación y pérdida de calor más temprano que lo habitual y puede además adelantar el ritmo de temperatura central (Shechter et al., 2011). Esto guarda cierta relación con lo observado en Belgrano II; analizando de forma separada los registros de temperatura periférica ante la presencia de sueño nocturno sin siestas o con siestas, se observó que, durante septiembre, la fuerza del ritmo y amplitud fue menor si analizaban los días con siestas.

La desincronización circadiana puede expresarse con alteraciones en el ritmo circadiano de la temperatura, con variaciones de su acrofase, amplitud y porcentaje de ritmo (Harding et al., 2019). Por ejemplo, se observa un retraso de dos horas en la disminución de la temperatura central en pacientes con síndrome de

retraso de fase. Una alteración de la vasodilatación periférica también es suficiente para generar mayor dificultad para conciliar el sueño, como en pacientes con trastornos de vasoespasmo periférico (Sung & Tochihara, 2000) (Sarabia et al., 2008) (Szymusiak, 2018) (Harding et al., 2019). Estas dos situaciones pueden presentarse en Antártida, el retraso de fase es habitual durante la noche polar, el frío puede afectar la vasodilatación distal, en especial en aquellos individuos con una menos eficiente circulación distal.

Por otro lado, el jet lag social generado por una discrepancia entre los horarios sociales y los del sistema circadiano, se puede analizar con el ritmo circadiano de temperatura periférica. Normalmente existe elevados valores de temperatura de piel distal durante la noche y bajos durante el día, durante un jet lag social los valores de temperatura de la noche se reducen y los del día se incrementan (Polugrudov et al., 2016). Dado que los valores de jet lag en la Base Belgrano II se mantuvieron sin diferencias significativas durante el año, la disminución de la amplitud y fuerza del ritmo de temperatura al finalizar la noche polar probablemente tenga una relación con el fotoperíodo extremo.

Los resultados de la Base Belgrano II detectaron la acrofase de la temperatura de la piel proximal entre las 19 y 21 horas, similar a los estudios bajo condiciones naturalísticas, con valores más cercanos a las 21 horas durante la primera mitad del año y valores más cercanos a las 19 horas en la segunda mitad del año, especialmente en septiembre que a su vez se asoció a una menor amplitud y fuerza del ritmo, sugiriendo mayor desincronización circadiana. No podemos descartar los efectos enmascaradores de la actividad sobre la temperatura; fue frecuente una elevada cantidad de trabajo físico en las tareas logísticas a diversos horarios, utilizando un abrigo para el exterior que podría generar un elevado calor corporal y modificar los valores de temperatura de la piel proximal. Si se hubieran utilizado mediciones de temperatura de la piel distal (muñeca o mano) también podrían haberse sufrido un efecto de confusión por exposición a temperaturas bajas durante el día, ya que la región de la mano puede quedar descubierta del abrigo utilizado.

Existen pocos estudios respecto de la evaluación de los ritmos circadianos de temperatura en Antártida, un estudio neozelandés de Gander et al. (1991) evaluó la adaptación en los patrones de sueño y del sistema circadiano en tres sujetos durante una campaña antártica de verano, mediante actigrafía y mediciones de temperatura rectal. Encontró una estabilidad en los horarios del sueño, pero con un retraso de aproximadamente dos horas en el ritmo de temperatura; evidenciando que a mayor retraso en el ritmo de temperatura, mayor fue la dificultad subjetiva para lograr dormir, probablemente relacionado al fotoperíodo antártico extremo durante el verano (Gander et al., 1991).

Un estudio en la base japonesa Dome Fuji (77°S, 3.910 m.n.s.m., 1.410 km del polo sur) evaluó patrones de sueño y ritmos circadianos en nueve sujetos durante una campaña antártica de invierno, una base aislada y confinada sin visitantes externos, con un fotoperíodo similar a Belgrano II, donde la noche polar duró 116 días (26 de abril al 16 de agosto). La intensidad de la luz solar durante el verano excedió los 100.000 lux. Al igual que en Belgrano II, la base utilizaba tubos fluorescentes y registró en la sala de estar unos 500 lux, en el comedor unos 300 lux y en los dormitorios individuales 100 a 200 lux. El ritmo de sueño fue analizado mediante diarios de sueño y actigrafía, junto con un análisis del ritmo de temperatura central mediante sondas rectales. El ritmo de temperatura en dos de los sujetos evidenció un retraso aproximado de dos horas durante el invierno, pero sin cambios en la duración y fase del sueño. En el tercer sujeto se encontró un

adelanto de fase de cuatro horas en el ritmo de temperatura durante el invierno, con un retraso continuo en el ritmo de sueño desde finales del invierno (ritmo libre). También se analizó ritmo de melatonina plasmática, registró un retraso de fase de cuatro horas durante el invierno en comparación al verano. El punto medio de sueño (utilizado como fase del ritmo de sueño) y la duración del sueño analizado en ocho sujetos (excluyendo al sujeto con adelanto de fase durante el invierno) no tuvo cambios significativos durante el año (Yoneyama et al., 1999).

Este estudio de Yoneyama considera que los ritmos circadianos en Antártida se desincronizan durante el verano o el invierno, cuando se pierde la fuerza del zeitgeber del sol y ocurren grandes discrepancias entre las señales temporales fóticas y no fóticas (sociales). Las señales de tiempo social posiblemente contrarresten el efecto del fotoperíodo extremo. Por lo tanto, el grado de estacionalidad en los ritmos circadianos puede depender de la fuerza relativa del fotoperíodo y de las señales sociales. Cuando las señales lumínicas y las señales de tiempo social están ausentes, los ritmos circadianos sufren una desincronización. Cuando la rutina de trabajo y las obligaciones sociales permanecen estrictamente programadas los ritmos circadianos se mantienen sincronizados. Pero cuando la intensidad de las señales sociales no son lo suficientemente fuertes, el ritmo de sueño se mantendría constante durante el año, ya que es más adaptable al ritmo de tiempo social, mientras que el ritmo circadiano de temperatura rectal cambiaría según la estación. El ritmo del sueño podría ser regulado por los horarios de trabajo (señales de tiempo social), mientras que el ritmo circadiano de la temperatura rectal estaría principalmente influenciado por el fotoperíodo. Se postula así, que manteniendo un estricto horario de trabajo se podría contrarrestar el efecto del fotoperíodo en los ritmos circadianos de melatonina y temperatura (Yoneyama et al., 1999).

6.4. Actividad cardiovascular y regulación autonómica del ritmo sinusal

No hemos encontrado cambios significativos durante el año en la FC, TAS ni TAD; todos los valores se han encontrado dentro de parámetros saludables (Consejo Argentino de Hipertensión Arterial, 2013). Mientras que la prueba de ortostatismo ha registrado durante y luego de la noche polar, un incremento estadísticamente significativo de la FC y de la TA al cambio de posición decúbito supino a posición de pie, aunque estos valores también se encontraron dentro de la normalidad para un adulto. Si bien en nuestros resultados tampoco hemos encontrado variaciones significativas en los análisis cuantitativos de la variación de la frecuencia cardíaca en los dominios del tiempo y de la frecuencia, en distintos tipos de confinamiento prolongado, el ritmo circadiano de la actividad autonómica cardíaca ha presentado resultados variables, con aumento o disminución de la actividad parasimpática, o ausencia de cambios.

Los humanos tenemos una capacidad extraordinaria de adaptación a un entorno estresante, incluso a la exposición prolongada al frío polar, mediante respuestas denominadas adaptación, habituación o aclimatación (Harinath et al., 2005). Los efectos del aislamiento y confinamiento prolongado sobre el equilibrio autonómico en una campaña antártica se analizaron en hombres y mujeres en la estación alemana Neumayer III. Mediciones de VFC durante 10 minutos por la mañana cuantificaron los índices en el dominio de frecuencia y tiempo. La FC se mantuvo sin cambios durante el aislamiento, aunque hubo un efecto significativo de la invernada sobre $\log LF / HF$, $LFnu$, $HFnu$ y $\log HF$. Una disminución de $\log HF$ durante el año, con un ligero aumento hacia el final, sugiere una disminución de la actividad vagal a lo largo de la misión. $\log LF/HF$ presentó un aumento durante el invierno, impulsado en gran medida por las mujeres, en quienes $\log LF/HF$ fue significativamente mayor en el tercer trimestre, en comparación con el primero. Este fenómeno de modulación autonómica cardíaca durante el invierno no se ha observado en otros análogos de aislamiento extremo, una disminución gradual y significativa en el tono parasimpático, particularmente durante el segundo trimestre de la expedición que se estabilizó aproximadamente luego de los dos tercios de la misión, con un cambio hacia el predominio simpático, más pronunciado en las mujeres. La influencia del sol y duración del día podría explicar también el curso temporal del $\log HF$, ya que siguió a esos cambios. También la influencia del estrés, es posible que la aproximación del verano influya en los resultados, ya que hay un aumento considerable de las actividades operativas y logísticas, extensas jornadas laborales y presión para finalizar los objetivos de la misión, reducción de la privacidad debido al aumento del personal (Maggioni et al., 2020). Este estudio si bien analiza el comportamiento de la VFC durante toda una campaña antártica, presenta a limitante de obtener registros de solo 10 minutos de duración por cada medición.

Otro estudio evaluó los cambios de la VFC durante una expedición antártica de verano en la Base Italiana Zucchelli en bahía Terra Nova e informó resultados contrapuestos, una reducción del equilibrio vagal simpático diurno expresada con disminuciones en el espectro de baja frecuencia (LF) y en la relación LF/HF al final de la expedición. Sin embargo, la muestra fue solo de seis hombres y el estudio solo duró 40 días (Farrace et al., 2003). Si bien este estudio analiza el comportamiento de la VFC en Antártida, su corta duración no permite obtener conclusiones acerca de la adaptación del hombre a estos entornos.

Un estudio en la base india Maitri evaluó la modulación cardíaca durante el verano en sujetos que realizaban su campaña de verano y en sujetos que finalizaban su campaña de invierno. Realizaron un registro de 30

minutos por la mañana en posición supina, seguido de una prueba de ortostatismo. En los sujetos que participaron de la campaña de verano, los valores de FC y TA mostraron un incremento transitorio al inicio (séptimo día), disminuyendo a los valores basales al finalizar los 60 días del estudio. La VFC mostró un incremento inicial del componente simpático (LH/FH) y reducción del parasimpático (HF), que se reestableció a sus valores basales a los 60 días, con un comportamiento similar en la respuesta al ortostatismo. La excreción urinaria de epinefrina y norepinefrina fue mayor a la semana y regresando sus valores basales al final de la campaña de verano. Estos cambios ocurridos durante el período inicial de la campaña antártica podrían atribuirse a la disminución del tono parasimpático y un incremento del simpático durante la campaña de verano. Los sujetos que finalizaban su campaña anual obtuvieron mayores valores de FC y TA, con una mayor actividad simpática en la prueba de ortostatismo y excreción de noradrenalina, sugiriendo un mayor tono de actividad simpática después su residencia prolongada, aunque de relativamente menor magnitud que las respuestas iniciales de los miembros de la campaña de verano. Si comparamos con nuestros datos al final de la campaña (noviembre), observamos un valor similar de FC y mayor de TA, aunque en ambas poblaciones dentro de parámetros normales, mientras que la prueba de ortostatismo evidencia un comportamiento similar. Esto podría corresponder a un posible restablecimiento del SNA por la reducción en la actividad física, la menor exposición al frío durante el invierno, al permanecer el mayor tiempo en el interior de la base, lo que limita el desarrollo de la respuesta de aclimatación. La exposición aguda al frío genera una activación simpática para conservar el calor, una reducción del flujo de sangre periférica y aumento de la producción metabólica de calor, una vasoconstricción y reducción del flujo sanguíneo periférico. Se activa el sistema corticosuprarrenal, el aumento en la secreción de catecolaminas estimulan al sistema cardiovascular y mejoran la disponibilidad de sustratos energéticos. Estas observaciones sugieren que un período de ocho semanas de exposición regular a un medio ambiente antártico puede desencadenar respuestas fisiológicas hacia una aclimatación. Un tono simpático atenuado puede conducir a un gradual cambio del equilibrio autonómico hacia un tono parasimpático, que probablemente sea responsable de la mayor tolerancia al frío (Harinath et al., 2005).

Si nos dirigimos a la actividad espacial, encontramos una serie de estudios que analizan la adaptación cardiovascular y el comportamiento de la VFC en análogos espaciales distintos de la Antártida y al espacio. El estudio Mars500 diseñado por la Agencia Espacial Europea (ESA) y el Instituto de Problemas Biomédicos de Moscú (IBMP) ya citado previamente, fue realizado para conocer y comprender los efectos fisiológicos y psicológicos de vivir en un entorno confinado que simule un viaje a Marte, separando los efectos del confinamiento a largo plazo del efecto de la exposición a la microgravedad. Una simulación de una misión real a Marte en duración, tripulación, actividades, carga de trabajo, instalaciones y comunicación; utilizando una instalación de 550 m³ de módulos sellados e interconectados, bajo iluminación artificial (50 a 300 lx) y temperatura constante de 24°C. La jornada laboral fue de 8 horas, con períodos establecidos para el descanso y el sueño (Wan et al., 2011) (Daniel E Vigo et al., 2012) (D. Vigo et al., 2013).

Inicialmente se realizó un estudio piloto de 105 días con seis voluntarios sanos, obteniendo un total de cinco mediciones, tres durante el confinamiento, una antes y otra después del mismo. La regulación cardiovascular mostró una forma de "U" en los valores de TA, con una disminución transitoria durante la mitad del confinamiento. Esta reducción transitoria podría haber estado causada por una mejor adaptación psicológica.

Las regiones eferentes del SNA están moduladas por aferencias vagales y por un conjunto de regiones cerebrales asociadas con la regulación de las emocionales y los procesamientos cognitivos. En este sentido, también se observaron cambios en forma de U en las respuestas cognitivo-emocionales pueden relacionarse con cambios de las respuestas autonómicas, con incrementos de la TA ante situaciones de estrés (Wan et al., 2011). Por otra parte, el análisis evidenció una disminución de la FC y un incremento global de la amplitud todos los componentes de la VFC durante el día (antes de las 20:00 h), junto con una disminución relativa del componente LF, que refleja una mayor influencia parasimpática con pérdida de la simpática. Durante la noche (luego de las 20 horas), no hubo diferencias significativas de VFC. La comparación de la VFC entre el día y la noche demostró una reducción de las diferencias en VLF, LF, HF y LF/HF durante el confinamiento, más pronunciado en HF. Las oscilaciones durante el día y la desaparición de las diferencias de sueño-vigilia, reflejan un incremento de la actividad parasimpática con una pérdida de predominio simpático durante la vigilia. La disminución del predominio simpático podría asociarse con un ambiente saludable y menos estresante, como así también a una eventual exposición prolongada a una luz artificial de menor intensidad que la natural y una mayor regularidad de la rutina. El incremento del tono parasimpático se podría asociar a un ambiente más relajado y una adaptación más saludable al confinamiento (Daniel E Vigo et al., 2012).

En el estudio Mars500 que incluyó a los 520 días de confinamiento, con mediciones de Holter ECG cada dos meses, se encontraron variaciones significativas de la VFC en vigilia similares al estudio de 105 de aislamiento. En vigilia se observó una disminución progresiva de la FC y un progresivo incremento en la amplitud de los componentes VLF y HF. En sueño una disminución en la amplitud relativa del componente HF. Las diferencias sueño/vigilia evidenciaron una disminución progresiva de la amplitud relativa del componente HF. El incremento de VLF y HF en vigilia y la disminución de HF durante el sueño podría ser explicado por un incremento de la actividad parasimpática en vigilia y una disminución durante el sueño, con una disminución de la amplitud del ritmo circadiano del componente parasimpático del SNA. Por lo tanto, durante el confinamiento ocurrió una disrupción del ritmo circadiano de la regulación autonómica de la FC, que regresó parcialmente al valor basal al final del mismo y se relaciona con la capacidad de adaptación del hombre al confinamiento (D. Vigo et al., 2013).

Los vuelos espaciales, por su parte, modifican drásticamente las exigencias cardiovasculares y eliminan la continua necesidad de regulación con los cambios posturales. La microgravedad genera cambios adaptativos en la fisiología cardiovascular y en sus mecanismos autonómicos de control, cambia el gradiente de presión hidrostática y se redistribuye el volumen intravascular del cuerpo. Se mejora el retorno venoso y el gasto cardíaco, la redistribución del flujo direcciona el mayor volumen de líquidos hacia la posición cefálica, donde predominan la mayor cantidad de barorreceptores que registran una sobrecarga de volumen, por lo que se elimina una proporción de líquidos a través de la diuresis, respiración y transpiración, que puede desencadenar incrementos de la frecuencia cardíaca por activación del sistema simpático suprarrenal, con una menor tolerancia al ortostatismo e incrementos de la frecuencia cardíaca al regreso a Tierra. También se ha observado en ocasiones una reducción de la frecuencia cardíaca por una mayor actividad parasimpática debido a la aclimatación a largo plazo (Hoffler et al., 1977) (Charles & Lathers, 1991) (Gundel et al., 1999) (Verheyden et al., 2010) (Xu et al., 2013) (Rajulu, 2018).

Los datos sobre regulación autonómica durante los vuelos espaciales a largo plazo son limitados, resultan difíciles de obtener e inconsistentes. Diferentes estudios han informado que durante un vuelo espacial la FC podría reducirse, incrementarse o mantenerse sin cambios. En la ISS se ha observado que la VFC se mantuvo sin cambios en reposo y en posición supina o se redujo el componente parasimpático (HF) de la VFC (Fritsch-Yelle et al., 1996) (Gundel et al., 1999) (Baevsky et al., 2007) (Xu et al., 2013).

Una serie de estudios sobre la Estación Espacial MIR han intentado comprender la adaptación cardiovascular durante una estadía de largo plazo en el espacio, que involucra a grupos reducidos de tres a seis cosmonautas. Inicialmente un estudio observó que la FC y la VFC no sufrían variaciones significativas en el espacio, aunque detectó incrementos de la FC al inicio del viaje y luego del regreso a Tierra, junto con una reducción del componente LF de la VFC durante los primeros 3 a 7 días del viaje, que podría explicarse por los cambios en volúmenes cardíacos y modificaciones en el barorreflejo durante la adaptación a la microgravedad (Goldberger et al., 1994). Sin embargo, en una estadía posterior de 30 días se ha observado una disminución de la FC en sueño No REM, con un incremento de la actividad parasimpática (componente HF) evaluada a través del análisis de VFC y un alargamiento del intervalo R-R de 100 ms, que implicaría cierta adaptación funcional al espacio (Gundel et al., 1999). Aunque estudio más prolongado de nueve meses de duración no registró cambios en la FC, mientras que disminuyó la influencia parasimpática sobre el corazón (Cooke et al., 2000). Otro estudio durante 6 meses tampoco encontró cambios en la TAS y FC, mientras que durante la vigilia se observó una disminución de la TAS y durante el sueño un incremento de la TAS, que podría atribuirse a una mayor actividad simpática en sueño (Shiraishi et al., 2004).

El Programa del Transbordador Espacial incluyó a más de un centenar de misiones que duraban de varios días a semanas, cada una de ellas ha involucrado un promedio de siete astronautas. Un estudio reportó que la FC, la TAS y la VFC se redujeron significativamente en el espacio, con cambios menores en la TAS, tal vez asociados a una menor actividad del eje simpático suprarrenal y una menor resistencia vascular. Interpretando que, si bien estos hallazgos sugieren que la microgravedad en sí misma no actúa como un factor de estrés para el sistema cardiovascular, los cambios adaptativos que ocurren en respuesta al ambiente de microgravedad sin contramedidas físicas dejan a los astronautas mal preparados para el estrés cardiovascular asociado al regreso a Tierra (Fritsch-Yelle et al., 1996). Otro estudio encontró que la FC se redujo al inicio del vuelo, mientras que la variabilidad general, la relación LF/HF (componente simpático) y la amplitud de la arritmia sinusal respiratoria (componente parasimpático) se mantuvieron sin cambios significativos. Inmediatamente después del aterrizaje, la FC y la relación LF/HF se incrementaron y mantuvieron elevadas durante los primeros 15 días. La variabilidad general y la arritmia sinusal respiratoria se redujeron después del vuelo, lo que sugiere que el tono parasimpático disminuye al regreso. Interpretan una adaptación del control autonómico de la FC a la microgravedad, que persistieron durante al menos 15 días después de volver a la gravedad de la Tierra (Migeotte et al., 2003).

Los estudios sobre la adaptación cardiovascular y la regulación autonómica a la estadía prolongada en la Estación Espacial Internacional (ISS) han observado que la VFC se mantuvo sin cambios o se redujo su componente parasimpático. En un estudio sobre ocho cosmonautas rusos durante una misión espacial a largo plazo (162 y 196 días), se registraron períodos de 10 min de respiración espontánea y 3 min de respiración controlada siguiendo un ritmo de 6 y 12 respiraciones por minuto. La TA y la FR disminuyeron en

el espacio, mientras que la FC y la VFC se mantuvieron sin cambios, lo que sugiere una adaptación funcional. La VFC durante la respiración controlada disminuyó en seis sujetos y no alcanzó los valores previos al vuelo después del regreso a la Tierra, lo que indica una reserva parasimpática reducida, que puede contribuir a las alteraciones posteriores al vuelo. Un solo cosmonauta tuvo intolerancia ortostática sostenida al tercer día del regreso a la Tierra (Baevsky et al., 2007). Otro trabajo sobre nueve misiones de hasta seis meses de duración observó que la FC y la TA no difirieron de los valores en decúbito supino antes del vuelo, mientras que la frecuencia respiratoria (FR) tendió a disminuir, lo que sugiere que la circulación se adapta crónicamente durante al menos seis meses de presencia en el espacio (Verheyden et al., 2010). Otro estudio involucró a tres astronautas americanos y tres cosmonautas rusos que han permanecido entre dos y seis meses en el espacio, tampoco se detectaron cambios en la FC y TA, mientras que el componente HF de la VFC se redujo y en el regreso solo hubo un incremento de la FC en posición sentada. Esta cierta estabilidad cardiovascular sugiere que las contramedidas y la actividad física logra mantener los mecanismos de control cardiovascular bien preparados para el regreso a la Tierra (Hughson et al., 2012).

La FC evaluada durante la vigilia y durante el sueño tampoco pareciera sufrir cambios con respecto a los valores en Tierra, solo registrando un incremento sutil luego del regreso, en comparación a las mediciones previas al vuelo. Esto sugiere que el estado cardiovascular se mantiene adecuado para satisfacer las demandas diarias de las actividades en el espacio (Fraser et al., 2012). En forma detallada, un estudio sobre la regulación autonómica durante el sueño encontró una marcada reducción de VFC, especialmente del componente HF, que se recuperó parcialmente después del aterrizaje; mientras que la FC en sueño no cambió durante el vuelo, pero se elevó 5 lpm luego del regreso a Tierra (a diferencia del estudio de Gundel et al. 1999, que encontró un pequeño incremento del componente HF y disminución de la FC en la Estación MIR). Se interpretó que el volumen sanguíneo se reduce en el espacio y se genera el incremento de la FC al regreso a la Tierra, que puede estimular a los barorreceptores, reducir la respuesta parasimpática e incrementar la simpática. La reducción del volumen de sangre y su distribución más uniforme en el espacio es probable que cause fluctuaciones menores en el retorno venoso y llenado cardíaco, esta atenuación se traduce en una reducción de la VFC por el sistema barorreflejo. Las reducciones de los componentes HF y LF sin cambios de FC también puede explicarse por incrementos de la FR en vuelo. La tendencia de recuperación en LF y HF luego del aterrizaje podría ser un resultado de la restauración del volumen sanguíneo y el regreso de los estímulos gravitacionales en Tierra, que pueden estimular a los barorreceptores e incrementar una respuesta simpática con incremento de la FC (Xu et al., 2013).

Finalmente, en situaciones de confinamiento antártico hemos encontrado algunos estudios realizados en campañas de verano, que no permite comprender los mecanismos de adaptación a largo plazo. El estudio realizado sobre la base Neumayer III tiene la particularidad de analizar el comportamiento de la VFC durante todo el año, pero con la desventaja de realizar mediciones de solo 10 minutos en vigilia durante la mañana. Hemos observado luego una serie de estudios realizados en el confinamiento del espacio, pero que están sujeto a los efectos de la microgravedad y sus resultados han sido inconsistentes. Si bien de acuerdo con nuestros resultados, el confinamiento prolongado no tiene un efecto significativo sobre el ritmo circadiano de la regulación autonómica cardíaca, nuestros resultados constituyen el primer trabajo realizado en registros de 24 horas a lo largo de un año de confinamiento.

6.5. Nivel de alerta durante el día

En nuestro estudio no hemos encontrado deterioro ni variaciones significativas en el nivel de alerta durante el día, evaluado mediante el Test de Vigilancia Psicomotora (PVT), una prueba sensible a la privación de sueño. En adultos jóvenes se recomienda entre 7 a 9 horas de sueño por noche para mantener un adecuado rendimiento diurno, mientras que nuestros datos registraron una duración entre 6 y 7 horas de promedio por noche, con un valor aún menor durante el invierno. Esta duración del sueño menor a lo recomendado para un buen funcionamiento diurno no ocurre solo en Antártida, hasta un tercio de los adultos refiere dormir menos de 7 horas por noche. La reducción del sueño nocturno en tan solo 1,3 a 1,5 horas por una noche puede reducir hasta en un 32% el nivel de alerta durante el día. Las consecuencias son más graves en quienes realizan trabajos en turnos prolongados o nocturnos y en aquellos con patología previa de sueño, como las apneas del sueño. Una privación total o restricción parcial y crónica de sueño podría generar fatiga y somnolencia durante el día, disminuir el estado de alerta y el rendimiento cognitivo, la velocidad de cognitiva y psicomotriz, aumentando la tasa de errores, factores que pueden conducir a mayor riesgo de cometer errores y sufrir accidentes (Whitmire et al., 2009).

Se define *privación parcial de sueño (restricción)* a la obtención de menos de cinco horas de sueño en un periodo de 24 horas, una *privación total de sueño (privación)* al permanecer sin conciliar el sueño por más de 24 horas (Pilcher & Huffcutt, 1996). Al mantenerse despierto más de 18 horas consecutivas se comprometen los procesos cognitivos básicos, disminuye la velocidad de reacción, la memoria a corto y largo plazo, la capacidad de concentración y de mantener la atención sostenida, la toma de decisiones, el procesamiento matemático, la velocidad cognitiva y la orientación espacial (Wu et al., 1991) (Czeisler, 2006) (Olson et al., 2016). El impacto en la caída en el rendimiento luego de una restricción de sueño aplica especialmente a ciertas profesiones, médicos, militares o astronautas, quienes están sujetos a cambios circadianos, turnos prolongados, pérdida aguda o crónica de sueño. Trabajar más de 40 horas por semana en estas circunstancias aumenta significativamente el riesgo de cometer un error (Whitmire et al., 2009).

Para reconocer cuanta privación de sueño es necesaria para desencadenar una somnolencia diurna suficiente como para obtener caídas en el nivel de atención, se realizaron estudios controlados con privaciones parciales de sueño. Dinges et al. (1997), analizó el nivel de alerta en sujetos que durmieron 5 horas por noche durante una semana. Se observaron mayores caídas en el rendimiento a partir del segundo día, con niveles bajos y estables los días siguientes, lo cual se interpreta como cierta adaptación a una restricción de sueño. Al finalizar la semana, pareciera que se necesitan otros dos días de sueño normal para obtener una adecuada recuperación. Se concluyó que cuando el sueño es limitado entre 4 a 6 horas al día, se acumula una "deuda de sueño" y en menos de una semana, se observa un déficit severo en el nivel del rendimiento durante la vigilia evaluado por PVT (Dinges et al., 1997). Por otra parte, un estudio de Van Dongen et al. (2003) (*Figura 20*), estudió diferentes grados de restricción de tiempo en cama durante dos semanas (4, 6 u 8 horas), comparando los resultados luego con sujetos bajo una privación total de sueño, 88 horas sin dormir. La obtención de cuatro a seis horas de sueño durante varios días disminuyó significativamente el rendimiento y la velocidad de respuesta, comparable al encontrado con uno o dos días de privación total de sueño. Los sujetos que durmieron cuatro horas por noche durante cinco días encontraron un deterioro significativo, equivalente al presentar luego de estar despierto por durante 24 horas;

luego de los 10 días presentaron fallas severas, equivalente a la que se tendría luego de 48 horas sin dormir. Mientras tanto, los que los que durmieron seis horas encontraron el deterioro al séptimo día. Fue la vigilia prolongada mayor de 15,8 horas el riesgo mayor para tener un bajo rendimiento. Estos resultados no fueron percibidos completamente por los sujetos, quienes subestimaron los efectos nocivos de la privación de menos de seis horas por noche, ya que solo manifestaron que se sintieron un poco somnolientos, cuando tuvieron una disminución significativa en la alerta, lo que indica que no han sido conscientes de su bajo rendimiento. Una privación de menos de seis horas de sueño por noche es un fenómeno muy frecuente en la vida actual y en todo ámbito laboral (Van Dongen et al., 2003) (Czeisler, 2006).

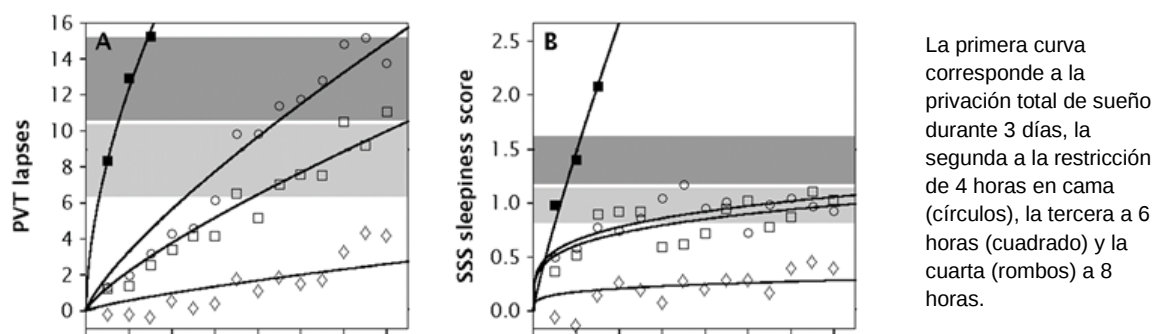


Figura 20. Restricción de Sueño y Rendimiento (Van Dongen et al., 2003). Izquierda: curvas de privación de sueño de 14 días y cantidad de errores en PVT (lapsus), donde Derecha, representa los valores diarios de la Escala de Somnolencia de Stanford, que no presentan una caída significativa con la privación crónica de sueño.

Un estudio similar de Belenky et al. (2003) evaluó los efectos del rendimiento cognitivo en voluntarios expuestos a una restricción crónica del sueño durante una semana, con tiempo en cama de 3, 5, 7 y 9 horas diarias por la noche (Figura 21). Los mayores déficits en la prueba PVT se centraron en quienes dormían tres horas diarias y su deterioro grave se encontró al quinto día, mientras que los que durmieron cinco horas encontraron solo un déficit menor a partir del cuarto día. Los sujetos que alcanzaron a estar nueve horas diarias en la cama no presentaron ningún déficit, lo que podría indicar que podrían ser necesarias estas nueve horas para disminuir el riesgo de cometer errores. La somnolencia subjetiva solo se deterioró significativamente en quienes dormían menos de tres horas por noche (Belenky et al., 2003).

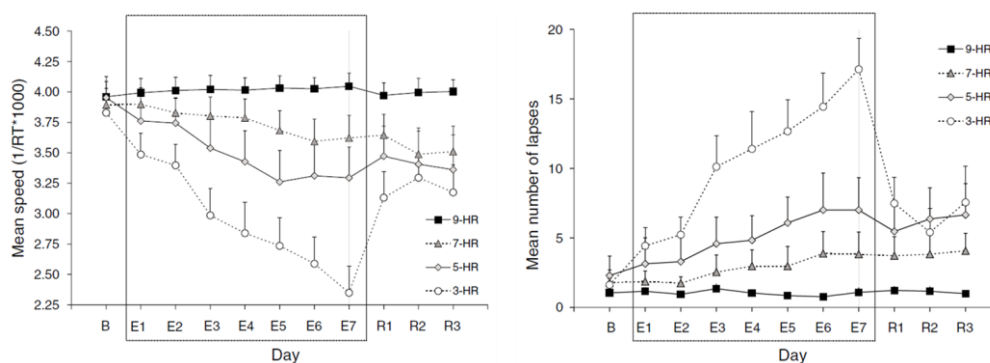


Figura 21. Restricción de Sueño y PVT (Belenky et al., 2003). Curvas de privación de sueño de 7 días y la velocidad de respuesta (izquierda), con la cantidad de errores en PVT o lapsus (derecha).

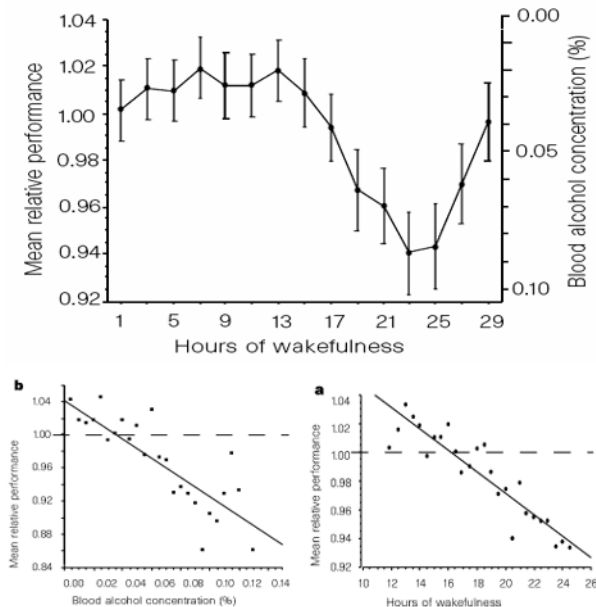


Figura 22 PVT Vigilia vs Alcholeemia (Dawson & Reid, 1997). Relación entre rendimiento, vigilia prolongada y alcholeemia. Abajo relación entre rendimiento y vigilia (izquierda), entre rendimiento y alcholeemia (derecha).

Un estudio similar de Williamson y Feyer (2000) mediante una serie de pruebas de reacción, atención y precisión, detectó que el rendimiento cognitivo se redujo al aumentar la privación del sueño desde 19 horas de vigilia sostenida. El rendimiento con un nivel de alcholeemia de 0,05% (g/dl) fue equivalente al encontrado luego de una vigilia de 16,9 a 18,6 horas y con 0,1% (g/dl) al encontrado luego de 17,7 a 19,7 horas. Esto exacerba cuando la medición se realiza entre las 22:00 y 02:00 horas, por la influencia circadiana en la caída del rendimiento (Williamson & Feyer, 2000).

La somnolencia diurna excesiva está presente en el 5% de la población, independientemente de la causa, disminuye el rendimiento y la capacidad del individuo para operar vehículos, pese a ser subestimado por los conductores, se estima que la somnolencia es el factor principal en el 10% de los accidentes automovilísticos mortales y en el 57% de los conductores de camiones (Bonnet & Arand, 1995) (Colten & Altevogt, 2006) (Diez et al., 2011) (Jurado Luque et al., 2016). El problema es particularmente común en los jóvenes, cuando cebero es muy eficiente para realizar la transición de sueño a vigilia, también en quienes sufren algún otro trastorno de sueño como las apneas o consumen medicamentos con efectos sedativos (Pack et al., 1995) (Duffy et al., 2009) (Jurado Luque et al., 2016). El personal de salud habitualmente realiza turnos de trabajo y jornadas prolongadas, sufriendo pérdida de sueño y desincronización circadiana, lo que incrementa el riesgo de accidentes laborales y errores graves de rendimiento, con una capacidad limitada para auto percibir su bajo rendimiento (Arnedt et al., 2006) (Ayas et al., 2006). Los médicos residentes pueden tener una sobrecarga de 55 a 80 horas de trabajo semanal, la cantidad de errores médicos y episodios de quedarse dormido mientras se realiza una actividad asistencial aumenta sustancialmente a medida que aumentaba el número de turnos de trabajo prolongados (Barger et al., 2006). El riesgo de que ocurran errores en la atención de enfermería también se incrementa cuando trabajan más de 40 horas semanales y se triplica cuando realizan turnos de más de 12 horas de duración (A. Rogers et al., 2004).

El nivel de alerta deriva de la interacción de los procesos circadianos y homeostáticos. La desincronización circadiana per se, se asocia con una disminución del rendimiento y del estado de alerta. Trabajar en turnos nocturnos plantea la dificultad de requerir el desempeño de una actividad laboral en un momento donde el cuerpo siente la necesidad de dormir bajo la influencia del sistema circadiano interno y del impulso homeostático. El sistema circadiano determina una variación en la propensión al sueño, el nivel de alerta y la capacidad cognitiva; su desincronización con respecto al ambiente genera trastornos del sueño, disminución del estado de alerta y del rendimiento. Las personas que trabajan en turnos de noche tratan de dormir durante el día, en un momento donde la propensión al mismo es baja. Son particularmente propensos a los accidentes de vehículos, tienen una mayor tasa de errores y accidentes de trabajo y una disminución general de la tasa de productividad. La pérdida de sueño, la desincronización circadiana, y los turnos de trabajo prolongados en conjunto, conducen a un marcado aumento de los errores de rendimiento y accidentes (Whitmire et al., 2009). Una persona privada de sueño puede mejorar su rendimiento con el uso de estimulantes, como café o fármacos; sin embargo, los efectos nocivos para la salud por la privación de sueño siguen permaneciendo (Buxton et al., 2010). La baja conciencia pública del problema se suma a la dificultad para detectar un riesgo de accidente se presenta ante la falta de un biomarcador que detecte la somnolencia, como lo es la prueba de alcoholemia para el control del consumo de los conductores (Czeisler, 2011).

La relación entre los ritmos circadianos de sueño, melatonina, temperatura y rendimiento es tal, que cuando los niveles de melatonina son elevados el de temperatura es bajo, el rendimiento y el estado de alerta también son bajos. Ciertas contramedidas parecieran lograr atenuar esta caída de rendimiento, como el uso de siestas, luz brillante y cafeína. La exposición a la luz brillante no afecta la temperatura y el rendimiento durante las horas diurnas, pero la exposición a luz brillante durante la noche tiende a reducir el descenso de temperatura, reduce la secreción de melatonina, mejora el rendimiento y el nivel de alerta, lo que puede resultar útil en los trabajadores de turnos nocturnos (Badia et al., 1991) (Wright, Badia, Myers, Plenzler, et al., 1997) (Foret et al., 1998). La cafeína bloquea el neuromodulador adenosina en el sistema nervioso central, evitando que realice sus acciones inhibitorias sobre las áreas que promueven la vigilia. La cafeína también reduce la melatonina y aumenta los niveles de temperatura de forma casi inmediata. El uso combinado de cafeína (200 mg, 20:00 y 02:00 h) y luz brillante (2.500 lux, de 20:00 a 08:00 h) resulta más efectivo para mejorar el estado de alerta nocturno y rendimiento durante una privación completa del sueño, que el uso de forma separada (Wright, Badia, Myers, & Plenzler, 1997).

El rendimiento cognitivo difiere según la tarea cognitiva evaluada y también fluctúa a lo largo del día en relación con el cronotipo del individuo. El nivel de alerta habitualmente tiene su acrofase en la primera mitad del día para los cronotipos matutinos, mientras que los vespertinos la alcanzan al final de la tarde. El rendimiento cognitivo es mayor cuando el tiempo de prueba está en sincronía con el pico de alerta de los individuos. Las personas que están más alerta por la mañana tienden a tener un mejor desempeño por la mañana que por la tarde; las personas que están más alerta por la noche tienden a funcionar mejor por la tarde o por la noche que por la mañana (Adan et al., 2012).

Un estudio de Wyatt et al. (1999) evaluó la interacción entre el nivel de rendimiento cognitivo y el sistema circadiano en sujetos impuestos a una desincronización forzada. Utilizaron ciclos de sueño vigilia de 28 horas (18:40 vigilia y 09:20 sueño) y de 20 horas (13:20 vigilia y 06:40 sueño). Los ritmos de temperatura y

melatonina mantuvieron un valor cercano a 24 horas (24,1 a 24,2), el inicio de secreción de melatonina se produjo junto con la disminución inicial de la temperatura central, mientras que los niveles máximos se alcanzaron antes de la temperatura mínima. La máxima eficiencia del sueño ocurrió entre el valor máximo de melatonina y el valor mínimo de temperatura central, mientras que el sueño obtenido cerca del valor máximo de temperatura tuvo un peor desempeño. El rendimiento cognitivo sufrió un deterioro cuando se incrementaban las horas de vigilia y su modulación circadiana se hizo más fuerte a medida que transcurría la vigilia. El rendimiento tuvo su nadir circadiano poco después del máximo de melatonina, cuando se acercaron al nadir de temperatura; siendo el mejor rendimiento cognitivo y el máximo nivel de alerta al final del día, cerca del máximo valor de temperatura central, justo antes del inicio de secreción de melatonina. Normalmente, el deterioro de las funciones cognitivas durante el transcurso la vigilia puede compensarse con el impulso circadiano, que alcanza su punto máximo en la última mitad del día habitual de vigilia. Es decir, que la interacción paradójica de los sistemas homeostático y circadiano sirve para consolidar tanto el sueño como la vigilia. El marcapasos circadiano promueve tanto el inicio del sueño como la consolidación del mismo, siendo este último particularmente crítico cuando la presión homeostática para dormir está casi saciada hacia el final de un episodio de sueño. Si no fuera por estas modulaciones del marcapasos circadiano, el sueño se fragmentaría después de las primeras horas y sería difícil mantener un estado de alerta óptimo durante las horas de vigilia (Wyatt et al., 1999).

Otro estudio similar de Wright et al. (2002), sobre desincronización forzada en días de 28 horas, investigó si el rendimiento se ve afectado por variaciones de la temperatura corporal o simplemente varía con la fase circadiana. Como el ser humano no logra adaptarse a un día de 28 horas, el ritmo de temperatura continúa oscilando en 24 horas y se genera una desincronización con respecto al día de 28 horas impuesto (18,7 h de vigilia y 9,3 h en cama). El rendimiento cognitivo (atención y memoria) fue mayor en el punto más elevado de temperatura central y menor en el punto de temperatura más bajo, independientemente del tiempo de vigilia o fase circadiana. Un aumento en la temperatura central de $\pm 0,17^{\circ}\text{C}$ se asoció con una mejora en el rendimiento. Una temperatura más alta dentro del rango circadiano normal se asocia con un mejor rendimiento. La función cognitiva mejora al aumentar la temperatura corporal ligeramente por encima del valor normal $\pm 37^{\circ}\text{C}$; disminuye al disminuir la temperatura por debajo de ese valor, que podría expresar una activación fisiológica. El rendimiento tiende a ser más bajo durante la noche biológica, cerca del mínimo del ritmo de la temperatura corporal, independientemente de la duración de la vigilia previa (Wright et al., 2002).

El aumento o disminución de la temperatura central también modifica la temperatura cerebral y afecta el rendimiento. Habría una zona térmica óptima para el funcionamiento del SNC, diferentes áreas y funciones cerebrales pueden tener diferentes zonas de sensibilidad térmica; dentro de esta franja aproximada de $36,5^{\circ}\text{C}$ a $38,5^{\circ}\text{C}$, una temperatura corporal más alta se asocia con un mayor rendimiento. Las tareas mentales más complejas son las más afectadas los cambios extremos de temperatura. Dentro de este rango, el aumento de la temperatura se asocia con un aumento en la velocidad de ejecución de las pruebas cognitivas, que podría deberse a un efecto directo sobre la excitación y los procesos neuronales. Sin embargo, la actividad cognitiva y el estado de alerta, también podría verse afectado si el calentamiento se asocia al estrés de exposiciones extenuantes al calor o ejercicios intensos. Podría ser que la temperatura corporal elevada estimula a las personas a realizar mayores esfuerzos, siendo capaces de mejorar en una

tarea simple como la vigilancia, mientras que no pueden evitar el deterioro de una tarea más compleja de matemática. A medida que aumenta el nivel de temperatura, el rendimiento mejora hasta un punto óptimo y luego disminuye, siendo que diferentes tareas puedan alcanzar su punto óptimo en diferentes niveles de temperatura. Estímulos térmicos desagradables, como un cambio repentino en las condiciones ambientales, podrían considerarse como una "carga cognitiva" que coloca demandas atencionales adicionales en un espacio de trabajo limitado, dejando menos recursos disponibles para tareas cognitivas (Wilkinson et al., 1964) (Holland et al., 1985) (Gaoua, 2010). Si bien estos estudios han sido realizados bajo situaciones controladas de laboratorio, se podría considerar que una desincronización circadiana que afecte al ritmo circadiano de temperatura podría relacionarse con ciertas modificaciones en las habilidades cognitivas. Como se mencionó en los resultados, no hemos encontrado relaciones consistentes entre ambas variables, si bien se verificó un efecto modulador de la época del año en la relación entre ritmicidad circadiana de la temperatura corporal y alerta.

Un estudio en la Base India Martiri (70° S) evaluó a 20 sujetos durante una campaña antártica 2010-2011, analizando la variación estacional (verano versus invierno) del ritmo del cortisol y melatonina plasmática, el estado de ánimo y rendimiento cognitivo. La batería de test cognitivos fue realizada 08:00, 15:00, 20:00 y 02:00 horas, evaluó atención, funciones ejecutivas, habilidad motora visual, matemáticas y velocidad de procesamiento (tiempo de reacción y cambios de atención). El ritmo de cortisol fue similar durante el verano e invierno, mientras que la melatonina evidenció mayores valores durante el día en el invierno, con un pico a las 02:00 horas en ambas estaciones. El sueño evaluado por diario de sueño registró una mejor calidad subjetiva durante el invierno, con una mayor duración y menor latencia de inicio durante el invierno en comparación al verano. Los cuestionarios de depresión, ansiedad y estrés evidenciaron un deterioro durante el invierno. El rendimiento cognitivo y el tiempo de reacción promedió lo mismo en verano que en invierno; aunque, los sujetos con depresión tuvieron menores puntajes para la memoria y cambios de atención durante el invierno (Premkumar et al., 2013).

En el ya citado estudio de Corbett et al. (2002), realizado en Base Halley sobre avance de ritmos circadianos ante la exposición matutina a luz blanca intensa durante el invierno polar también evaluó rendimiento. En el último día de cada período de intervención, se les pidió a los participantes que completaran dos pruebas de rendimiento cognitivo en cuatro momentos del día, que incluía la prueba de cancelación de letras para evaluar el nivel de atención. Se observó un mejor rendimiento a lo largo del día, significativamente mejor durante el período de exposición a la luz intensa, en comparaciones a las mediciones control con luz habitual de la base. La mejora gradual de la alerta durante el transcurso del día se corresponde con el esperado nivel de la variación diurna del rendimiento, que está influenciado por el proceso circadiano y homeostático. Como todas las pruebas se realizaron en un período de 12 horas, es esperable que no esté afectado por el proceso homeostático, ya que el deterioro esperado ocurre después de un período más largo de tiempo (Corbett et al., 2012). Si bien en nuestro estudio no contamos con una mayor cantidad de mediciones repetidas a lo largo del día, la ausencia del deterioro del nivel de la alerta en un período de dos mediciones en doce horas podría explicarse de la misma forma.

Otro estudio que examinó el impacto del aislamiento y el confinamiento a largo plazo en el rendimiento de una expedición francesa en Antártida durante ocho meses, tampoco se observaron caídas severas en el

rendimiento durante la campaña, sino más bien indicaciones sutiles de alteraciones (Sauer et al., 1999). Un estudio realizó evaluaciones de ritmo de sueño y nivel de alerta en 14 jóvenes durante una estadía de 12 días en Antártida, en la base neozelandesa Scott y en un campamento cercano al mar de Ross, no encontraron variaciones significativas en los horarios objetivos de sueño evaluada por actigrafía ni en la calidad subjetiva evaluada por Pittsburgh. El test de Stroop se utilizó en tres días distintos para evaluar el rendimiento cognitivo y no evidenció fallas en el nivel de atención durante la estadía en Antártida ni tampoco en el pre despliegue (Weymouth & Steel, 2013).

En el estudio citado de la Estación Concordia durante la campaña de invierno del año 2009, que evidenció un retraso del ritmo de sueño durante la noche polar, cual se normalizó con la exposición a luz enriquecida en azul, también estudió el estado de alerta. Los días viernes por la noche (18:00 a 20:00 horas) realizaron una batería de pruebas neuroconductuales, que incluyó un cuestionario computarizado sobre autoevaluaciones de estado de alerta, estado de ánimo, somnolencia, bienestar y tiempo de reacción (PVT). El tiempo de reacción evaluado por PVT disminuyó con el transcurso del estudio, pero sin obtener un efecto significativo con la exposición a la luz enriquecida, aunque la exposición a la luz enriquecida aumentó significativamente el bienestar y el estado de alerta subjetivo (Najjar et al., 2014).

En otro citado estudio en la Estación Concordia, que analizó parámetros de sueño, somnolencia y rendimiento psicomotor. El nivel de alerta también fue evaluado a través de una prueba computarizada de tiempo de reacción visual de 5 minutos de duración (PVT), donde se debía responder a un estímulo visual que se presentaba de forma aleatoria cada 2 a 10 segundos. La velocidad psicomotora se midió como velocidad de reacción (RS), que corresponde a la inversa de los tiempos de reacción (RT) multiplicados por 1.000 ($RS=1000/RT$) y $RT < 100$ ms (falsos comienzos), considerando que los tiempos entre 200 y 400 ms reflejan una respuesta óptima. La falta de respuesta dentro de los 500 milisegundos se interpretó como un lapsus. Se analizó el 10 % de las respuestas más rápidas, el 10% de las más lentas y el rango interpercentil (IPR), que corresponde al 10 % de las más lentas menos 10 % de las más rápidas, particularmente sensible a la privación del sueño. Se observó que el tiempo de reacción promedio se mantuvo estable durante toda la campaña antártica, pese a mostrar una velocidad comparable a pacientes de mediana edad con trastornos primarios del sueño con somnolencia diurna excesiva. Se observó además que las diferencias entre los individuos en la velocidad psicomotora fueron moderadamente estables a lo largo de la expedición. En relación a los horarios de trabajo y descanso, la velocidad psicomotora evidenció una tendencia a aumentar en los que mantenían un horario estricto de sueño/vigilia, mientras que los sujetos con menos restricciones a la hora de acostarse tenían una tendencia a mejorar la velocidad con el tiempo. Es probable que mantener un horario regular de sueño/vigilia, despertando a la misma hora, pueda servir como un Zeitgeber no fótico suficientemente potente para contrarrestar el efecto de los fotoperíodos extremos (Mairesse et al., 2019).

En la actividad espacial, cuando se planifican las actividades durante los viajes también se reconoce el riesgo a padecer pérdida de sueño, fatiga, turnos de trabajo prolongados, desincronización circadiana y sobrecarga de trabajo, que incrementa el riesgo a cometer errores de rendimiento, lesiones y accidentes. Por tanto, en base en la evidencia de los estudios realizados en tierra, los astronautas se enfrentan a un riesgo constante que aún puede agravarse por la presencia de otros aspectos del entorno espacial, como la microgravedad. Si bien los estudios existentes muestran cierto deterioro del nivel de rendimiento cognitivo durante los vuelos

espaciales, la baja calidad y cantidad de la evidencia limita la afirmación de que esto ocurra como resultado de la pérdida de sueño, el incremento de la fatiga, la desincronización circadiana y la sobrecarga de trabajo. Los estudios además suelen implicar viajes de corta duración y en un número muy bajo de astronautas, se desconoce si estos factores pueden afectar el rendimiento y tener un impacto en el cumplimiento de los objetivos de la misión, aún menos claridad en viajes de larga duración. Estudios en Inter percentil el Tránsito Espacial y la Estación Espacial MIR encontraron en forma variable algunas disminuciones en el rendimiento en pruebas de diferentes dominios cognitivos, como memoria, atención, velocidad y precisión de respuesta, razonamiento gramatical, control motor fino y procesamiento de información ambiental (Manzey et al., 1998) (Newman & Lathan, 1999) (Whitmire et al., 2009) (Kanas & Manzey, 2016) (G. Sandal, 2018) (Gore, 2018).

Un estudio realizado en cinco astronautas durante el año 1998 en el Tránsito Espacial, ha documentado una ligera disminución del tiempo total de sueño, sin cambios significativos en la arquitectura. El ritmo de la temperatura central se mantuvo alineado con la hora de inicio de sueño, aunque su amplitud disminuyó durante la misión. Sugieren que la exposición a la luz y la programación del ciclo de sueño-vigilia ejercieron una señal insuficiente sobre el marcapasos circadiano para mantener la sincronización. La batería de evaluaciones cognitivas incluyó PVT, sensible a la desincronización circadiana y la duración de la vigilia. La mayoría de los test no evidenciaron diferencias significativas durante el vuelo, aunque hubo una mayor cantidad de lapsus en PVT. Es probable que el estrés y la pérdida de sueño, ejerzan un impacto negativo en el rendimiento, sabiendo que una eventual desalineación circadiana u otros factores asociados con los vuelos espaciales podrían influir (Dijk et al., 2001) (Beard, 2018) (Kanki, 2018) (Gore, 2018).

En las operaciones espaciales también ocurren cambios imprevistos en la rutina de trabajo y de descanso por el surgimiento de actividades críticas durante el vuelo, lo que agrega otro factor de riesgo para la privación del sueño y la desincronización circadiana para los astronautas y los equipos de apoyo en Tierra; muchas veces implica turnos nocturnos y jornadas prolongadas, cuando el nivel de alerta es bajo y el impulso homeostático promueven el sueño. La sobrecarga de trabajo estuvo con mucha frecuencia presente en las diversas misiones espaciales, incluidos los Programas Skylab y Apolo. El ritmo acelerado y el aumento en la carga de trabajo durante las misiones de Skylab hizo que los astronautas encontraran dificultades en el cumplimiento de los objetivos y disminución de la motivación. El Programa Apolo también reveló que algunos de sus tripulantes informaron una grave fatiga mental mientras realizaban EVAs lunares. Las misiones a la ISS actuales también presentan un elevado ritmo de exigencia para tareas las críticas y complejas, con EVAs que pueden durar más de seis horas de duración (Scheuring et al., 2008) (Whitmire et al., 2009).

Nuestros resultados ayudan a comprender el impacto en el nivel de rendimiento que puede obtenerse con la exposición a fotoperíodos extremos en un ambiente aislado y confinado, que si bien no presenta las particularidades de un vuelo espacial, sus similitudes son mayores a las que se viven en un estudio controlado de laboratorio, por lo cual resulta de gran interés para evaluar con mayor precisión el nivel de rendimiento, que de por sí está sujeto a una gran variabilidad de circunstancias ambientales y personales.

6.6. Limitaciones

El estudio tuvo una adecuada aplicación y cumplimiento de los objetivos, aunque se deben reportar una serie de limitaciones, frecuentes en investigaciones sobre entornos extremos, aislados y confinados:

- La cantidad de sujetos fue limitada ($n=13$) y la muestra estuvo seleccionada, aunque es una situación propia de este tipo de estudios.
- La población estudiada se identificó con el sexo y género masculino. Es probable que diferencias de género puedan contribuir a ampliar la base de conocimientos obtenidos en este tipo de estudios.
- No hubo un grupo control en una ciudad argentina, bajo una situación de vida normal que pueda compararse con los resultados obtenidos en Antártida.
- La comparación pre y post se realizaron al inicio y fin de la campaña, no hubo medición antes y después del viaje. Estas mediciones iniciaron y terminaron con 60 días de diferencia a la llegada y a la partida, a fin de evitar factores de confusión por el estrés y elevada sobrecarga de trabajo próximo a estas fechas.
- Las mediciones comenzaron en marzo y finalizaron en noviembre, no se ha registrado lo ocurrido durante el verano y no se han comparado con el invierno, siendo entornos ambientales y sociales opuestos.
- Factores ambientales pueden alterar el sueño, la temperatura en el interior de la base fue uniforme, podría ser confortable para algunos y no para otros, mientras que el ruido de maquinaria de fondo no fue registrado.
- No hubo registros de polisomnografía, el estándar de oro para analizar la estructura del sueño. La actigrafía permite realizar registros de forma continua durante el año, pero no permite analizar su estructura.
- El ritmo de temperatura se obtuvo con un solo sensor sobre la piel, si bien no determina con precisión los valores de temperatura de la piel, si permite estimar su amplitud y ritmicidad.
- Para el análisis de la VFC no se controlaron ciertos factores adicionales que podrían afectarla, el estado de hidratación y peso corporal, la estructura del sueño y ciertos factores ambientales, como la duración de la luz solar, la temperatura ambiental y la radiación solar.
- El nivel de alerta fue evaluado mediante PVT, realizadas durante la mañana y al atardecer, por lo que tal distanciamiento no puedo detectar el rendimiento circadiano durante el transcurso de un día completo.
- No han sido evaluados otras áreas cognitivas que pueden afectarse por una privación de sueño y desincronización circadiana, como la memoria a corto y largo plazo, la capacidad de concentración, la toma de decisiones, el procesamiento matemático, la velocidad cognitiva y la orientación espacial.
- No se consideraron en este estudio los efectos de la adaptación psicológica, ya sean trastornos del estado de ánimo que puedan presentarse por el aislamiento, confinamiento y la vida en latitudes extremas.
- No se realizó un análisis del ritmo de melatonina ni de cortisol urinario, un marcador de fase circadiana que no presenta influencias homeostáticas por una vigilia prolongada.
- No se evaluó la frecuencia e intensidad de la actividad física, que podría sufrir cambios durante el invierno polar y modificar el impulso homeostático del sueño.

7. CONCLUSIONES

La exposición de los seres humanos a un ambiente extremo, aislado y confinado requiere de mecanismos de adaptación, este proceso puede ser exitoso y lograr la adaptación o fracasar y llevar a un estado de estrés, expresado en cambios en la regulación circadiana y autonómica, que puede poner en riesgo la salud de la tripulación. Vivir en estas latitudes implica afrontar el frío extremo y el ambiente hostil, bajo un aislamiento y confinamiento en espacios reducidos, la exposición a situaciones peligrosas y elevada demanda de trabajo. La Antártida resulta un lugar ideal para estudiar la estacionalidad de los ritmos circadianos humanos, ya que el cambio estacional en el fotoperíodo es extremo (de luz constante a oscuridad constante) y los horarios sociales pueden controlarse. Por esta razón, no es de extrañar que tanto el personal desplegado en territorio antártico como en el espacio, debido a la pérdida de la iluminación natural, sufra de trastornos circadianos relacionados con la exposición al fotoperíodo extremo. Los estudios de cronobiología antártica, mediante el monitoreo no invasivo de las respuestas fisiológicas, permite comprender mejor los cambios adaptativos al aislamiento y confinamiento, aplicar y desarrollar herramientas que permitan detectar una alerta temprana al estrés y caída en el rendimiento, así como las medidas adecuadas para atenuarlas.

Este trabajo de tesis evaluó el impacto cronobiológico de un año de aislamiento antártico sobre la tripulación de la Base Belgrano II, determinando si existían cambios significativos en ciclo sueño/vigilia, ritmo circadiano de la temperatura corporal, regulación autonómica del ritmo sinusal y nivel de alerta en vigilia, en relación al fotoperíodo extremo propio de la base. La aproximación al problema a través del uso de múltiples indicadores provee una forma más precisa y confiable para evaluar la sincronización circadiana que el uso de un solo indicador. Comprobamos que la existencia de un fotoperíodo extremo, en relación con los 116 días de noche polar durante el invierno, determinó cambios significativos en el ritmo circadiano del ciclo sueño / vigilia, una disminución en la duración del sueño y una tendencia al retraso en la hora de inicio del sueño en julio. Observamos, además, posiblemente con efecto compensatorio, un aumento de la duración siestas al final de la noche polar (septiembre). Estos cambios estuvieron acompañados de una disminución de la fortaleza y amplitud del ritmo circadiano de temperatura, demostrando un deterioro de los ritmos endógenos de la tripulación, que interpretamos como marcador de desincronización circadiana, con cierta influencia del confinamiento en la relación entre temperatura y alerta.

El reloj biológico en humanos se sincroniza por diversos estímulos, siendo los principales el ciclo de luz oscuridad, el ciclo de alimentación y diversos factores sociales, que incluyen los horarios de trabajo y esparcimiento y las interacciones sociales, que incluyen tiempo al aire libre. En la sociedad moderna, las imposiciones sociales y laborales suelen tener efectos deletéreos sobre diferentes procesos de sincronización, el trabajo en turnos rotativos, el horario escolar y las presiones sociales para estar siempre activos, las 24 horas del día, los siete días de la semana, son algunos ejemplos de procesos de desincronización circadiana. Existen algunas profesiones y tareas en las que estos procesos se ven acentuados y exacerbados. Por ello es vital contar con modelos accesibles que nos permitan comprender y estudiar estos procesos de desincronización en un ámbito naturalista que permita un abordaje integral. En esta tesis, propusimos la utilización de la base Antártica Belgrano II como modelo de desincronización biológica basándonos en sus características ambientales como el fotoperíodo extremo (con cuatro meses de

luz constante, cuatro meses con alternancia entre el día y la noche y cuatro meses de oscuridad constante), que interfiere con la sincronización por el ciclo luz-oscuridad, y la condición de aislamiento y confinamiento, que interfiere con la sincronización social. Nuestros resultados muestran el impacto que la Antártida tuvo sobre el reloj biológico de la tripulación, mostrando una sincronización debilitada evidenciada, por ejemplo, en el cambio en la fase del ciclo sueño-vigilia y un efecto sobre el oscilador endógeno con un decaimiento en la robustez del ritmo de temperatura. Si bien faltan experimentos que nos permitan desentrañar el efecto que poseen diferentes aspectos de la vida en la base Belgrano II sobre el reloj, los resultados de esta tesis permiten proponer a la base Belgrano II como un candidato para estudiar el impacto sobre la fisiología de la exposición y trabajo en ambientes extremos que van desde el trabajo en minas, el trabajo en submarinos, el trabajo en subterráneos, hasta su uso para simular el impacto de las condiciones que impone la exploración espacial.

El creciente interés en la exploración humana del espacio y de una futura misión a Marte requiere entender la adaptación a un ambiente aislado, confinado y extremo. Una misión espacial tripulada con la tecnología actual puede implicar una expedición de treinta meses de duración. Los peligros que impactan sobre la salud a considerar son inmensos, los principales se relacionan con la microgravedad, la exposición a radiaciones cósmicas y solares, el confinamiento y aislamiento extremo. Misiones que se prolongarán en un sitio donde las condiciones de iluminación natural no se corresponden con los ciclos naturales de 24 horas sobre la Tierra. Los ritmos circadianos podrían debilitarse y desincronizarse, lo que dificultaría la obtención del sueño en el horario adecuado y comprometería el rendimiento durante el día. Es de esperar que los astronautas en órbita y sus equipos se expongan a jornadas laborales extensas con horarios irregulares, pérdida de sueño, fatiga, sobrecarga de trabajo y desincronización circadiana, que pueden disminuir el nivel de alerta, la capacidad cognitiva y rendimiento psicomotor, factores asociados a un riesgo mayor de accidentes y errores de trabajo, que finalmente pueden poner en peligro el éxito de una misión. El conocimiento de estos factores permite predecir la adaptabilidad individual al ambiente extremo, programar las actividades y tomar las contramedidas adecuadas que permitan la óptima sincronización del sistema circadiano, a fin de mantener un adecuado ritmo de sueño y rendimiento cognitivo durante las misiones espaciales de larga duración.

Por lo tanto, la determinación de los ritmos circadianos es uno de los factores importantes en la planificación de viajes espaciales prolongados. Las investigaciones en el espacio tienen una limitación logística importante, mientras que el uso de análogos espaciales en la Tierra ofrece la oportunidad de probar cohortes más grandes de participantes con una mayor disponibilidad de tiempo, en un ambiente propicio para mediciones biológicas no invasivas. Como análogos espaciales se incluyen bases en Antártida, instalaciones en desiertos, laboratorios o réplicas de una nave espacial, que pueden simular situaciones relacionadas al aislamiento y confinamiento, sin incluir la exposición a las radiaciones y microgravedad. Los análogos pueden ayudar a establecer normativas sobre los períodos de trabajo y de descanso necesario para el cumplimiento de las actividades en una misión prolongada, como así también desarrollar herramientas que detecten déficits cognitivos relacionados con la fatiga y cuales factores mejoran o deterioran el sueño y el nivel de alerta o alteran los ritmos circadianos en el espacio. Las bases antárticas se consideran análogos de alta fidelidad, experimentan un confinamiento y aislamiento real, con la imposibilidad de realizar misiones de rescate durante la mayor parte del año. Si bien no permiten realizar un minucioso control de las variables

ambientales y biológicas, su observación resulta más fidedigna a la realidad que los generados dentro de un laboratorio dentro de una ciudad.

Finalmente, las investigaciones relacionadas al impacto cronobiológico del aislamiento y confinamiento extremo permitirán delinear medidas tendientes a reducir la fatiga y aumentar el rendimiento de sujetos, reducir tasas de accidentes y atenuar problemas de salud derivados de los trastornos de sueño y desincronización circadiana. También la mejora de estos conocimientos puede mejorar los procedimientos de selección de expedicionarios, tanto viajes polares como en viajes espaciales de larga duración. Por otra parte, el desarrollo de estos modelos puede contribuir a desentrañar mecanismos con potenciales aplicaciones en trabajadores en turnos, sectores de negocios, transporte, energía, salud pública, seguridad y defensa. Podría ayudar a predecir el impacto de la pérdida aguda o crónica de sueño, la desincronización circadiana y los horarios de trabajo extensos en el rendimiento, ayudar a minimizar los eventos negativos y los accidentes relacionados con el incremento de la fatiga. A fin de prever los tiempos en el que es más probable que el rendimiento se mantenga en niveles aceptables, determinar el mejor momento para realizar una tarea crítica y determinar los tiempos más adecuados para conseguir un sueño reparador.

8. GLOSARIO

ACROFASE: Medida de tiempo transcurrido entre un momento puntual de referencia (hora del día) y la fase del ritmo en estudio donde se encuentra el valor más elevado de la variable. Se suele describir cómo la hora del día en el que una función biológica alcanza su valor máximo a lo largo de su período.

ACTIGRAFÍA: Registro de patrones y horarios de sueño inferidos a través de los movimientos corporales, mediante el uso de acelerómetros y algoritmos informáticos pueden estimar el tiempo de sueño. El Actígrafo es un dispositivo portátil y no invasivo, habitualmente en forma de reloj pulsera que es utilizado en la muñeca no dominante durante largos períodos de tiempo.

ACTOGRAMA: Representación gráfica de los ciclos de 24 horas de una variable biológica a lo largo de un período de días determinado, cada día se expresa en barras horizontales; siendo un ritmo sincronizado aquel que verticalmente coinciden sus horarios en todos los ciclos.

ADENOSINA: Neuromodulador inhibitorio de la excitabilidad neuronal, acumulado en el SNC durante el transcurso de la vigilia por el consumo de energía. Genera un aumento del proceso homeostáticos del sueño a través de su acción sobre los receptores de adenosina. La cafeína mantiene el nivel de alerta mediante el bloqueo de los receptores de adenosina del SNC.

AGENDA O DIARIO DEL SUEÑO: Herramienta de y valoración de patrones de sueño. Registro diario y auto informado de los horarios de acostarse y levantarse de la cama, tiempo despierto en cama, frecuencia de despertares y dificultades. Se completa por la mañana (noche previa) y por la noche (siestas).

ALTA FRECUENCIA (HF): Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca que se relaciona con la arritmia sinusal respiratoria y es reflejo de la modulación parasimpática (HF: 0.15 - 0.5 Hz, ms²).

AMPLITUD: Diferencia entre mesor y el valor máximo o mínimo alcanzado por la variable. La amplitud es un indicador de la estabilidad de los ritmos circadianos, por lo que una alteración en su sincronización puede manifestarse con disminuciones en su amplitud.

ANÁLOGO ESPACIAL: Simulador que representa los aspectos de un vuelo espacial dentro de laboratorios controlados con base en la Tierra. Permite desentrañar los mecanismos de adaptación fisiológica y psicológica al espacio.

ANALOGO ESPACIAL DE CONFINAMIENTO ANTÁRTICO: Estudio de los mecanismos adaptativos psico-fisiológicos que se ponen en juego en situaciones de aislamiento y confinamiento extremos, dentro del contexto y riesgo real de una campaña antártica.

ANALOGO ESPACIAL DE CONFINAMIENTO EN LABORATORIO: Estudio sobre los mecanismos adaptativos psico-fisiológicos que se ponen en juego en situaciones de aislamiento y confinamiento extremos bajo la simulación de una actividad espacial. El Proyecto Mars500 se confinó a un grupo de sujetos durante 520 días, simulando las condiciones de aislamiento de un eventual viaje a Marte.

ANALOGO ESPACIAL DE MICROGRAVEDAD: Estudio “BED-REST” en un laboratorio controlado, donde la permanencia en posición supina por periodos prolongados de tiempo permite simular los efectos fisiológicos de la presencia de microgravedad.

ÁNGULO DE FASE: Distancia temporal entre dos ritmos biológicos, describe en qué momento se encuentra un ritmo con respecto a una función externa (ciclo de luz oscuridad) o una función interna (ciclo de sueño vigilia), midiéndose en tiempo (horas o minutos) o en grados ($1 \text{ hora} = 15^\circ$ o $24 \text{ horas} = 360^\circ$). Se suele utilizar para relacionar la fase del ritmo del sueño con la fase de otro ritmo circadiano.

ANTARTIDA: Es el continente más frío, seco y ventoso e inhóspito del planeta. Se ubica por debajo del Círculo Polar Antártico (60°S) y cubre una superficie aproximada de $14.000.000 \text{ km}^2$, de los cuales 99% se encuentra cubiertas por hielo. Es la zona remota más elevada del planeta, con periodos de luz u oscuridad que pueden durar meses. Presenta una Meseta Polar, Costas de Antártida Oriental y la Península Antártica.

ANTARTIDA ARGENTINA: La Argentina reivindica soberanía sobre el “Sector Antártico Argentino”, definido por el paralelo 60° Sur y el Polo Sur, los meridianos 25° y 74° de longitud Oeste. La superficie es de $1.461.597 \text{ km}^2$, de los cuales 965.314 km^2 corresponden a tierra firme. Forma parte del territorio de la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur (Ley 23.775), aunque está sujeto al régimen del Tratado Antártico. La Argentina administra 13 bases en este sector, de las cuales 6 son permanentes (operativas todo el año) y 7 temporarias (operativas sólo en verano).

ARRITMIA SINUSAL RESPIRATORIA: Efecto de la respiración de ritmo lento en las oscilaciones del intervalo cardíaco (R-R), con fluctuaciones en una banda HF de alta frecuencia ($0,15$ a $0,30 \text{ Hz}$), que se relaciona con la modulación parasimpática.

BAJA FRECUENCIA (LF): Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca que se relaciona con el barorreflejo y expresa estímulos simpáticos y parasimpáticos. (LF: 0.04 - 0.15 Hz , ms^2) (VLF: $< 0.04 \text{ Hz}$, ms^2)

BASE ANTÁRTICA BELGRANO II: Base argentina fundada en el año 1979 y constituida por una serie de instalaciones de investigación científica emplazadas sobre un afloramiento rocoso de tierra firme en el Nunatak Bertrab de la Bahía Vahsel, frente al mar de Weddell. Siendo la base argentina más austral, se encuentra a unos 1.300 km del Polo Sur, ($77^\circ 51'$ latitud sur y $34^\circ 33'$ longitud oeste).

BAROREFLEJO: Control reflejo que mantiene la presión arterial oscilando en parámetros normales a través la acción simpática y parasimpática, estableciendo cambios en la frecuencia cardíaca, la contracción ventricular y el tono vasomotor. El reflejo cardiovagal genera bradicardia cuando aumenta la TA, el cardiosimpático y vasosimpático generan taquicardia y vasoconstricción cuando la TA disminuye.

BATIFASE: Medida de tiempo transcurrido entre un momento puntual de referencia (hora del día o acrofase de otro ritmo biológico) y la fase del ritmo en estudio donde se encuentra el valor más bajo de la variable. Se suele describir cómo la hora del día en el que una función biológica estudiada alcanza su valor mínimo

CARDIOTOCOGRAMA: representación gráfica de la duración de los distintos intervalos R-R del electrocardiograma a lo largo del tiempo.

CAMBIO DE FASE: Adelanto o Retraso de la Acrofase de un ritmo biológico.

CICLO DE ACTIVIDAD / REPOSO: Ciclo de funcionamiento cerebral, durante la vigilia hay fluctuaciones en los niveles de atención de entre 90 y 120 minutos, mientras que en sueño representa los ciclos de sueño No REM y sueño REM.

COSINOR: Método de análisis de los ritmos biológicos mediante el ajuste de datos en una curva coseno.

CRONOBIOLOGÍA: Disciplina que estudia la organización temporal de los de los ritmos biológicos de las funciones orgánicas en los seres vivos, sus alteraciones y los mecanismos que la regulan.

CRONOBióTICO: Sustancia administrada para el tratamiento de los trastornos del ritmo circadiano, su utilización en determinados momentos del día puede adelantar o retrasar los ritmos circadianos. La melatonina es el cronobiótico natural por excelencia, puede modular la actividad del NSQ.

CRONODISRUPCIÓN: Pérdida de sincronización entre los ritmos circadianos entre sí o con los ritmos del ambiente. La disrupción puede deberse a causas internas (envejecimiento, ceguera, enfermedades degenerativas del sistema nervioso y trastornos del sueño) o externas (jet lag, trabajo por turnos).

CRONOENVEJECIMIENTO: Con el envejecimiento la degeneración del NSQ se genera una disminución en la amplitud y duración de los ritmos, con dificultades para sincronizar los ritmos entre sí, por lo que disminuye la tolerancia y capacidad de adaptación a grandes cambios ambientales, como el trabajo por turnos o viajes en aviones a grandes distancias.

CRONOTERAPIA: Terapia de resincronización de los trastornos del ritmo circadiano mediante un retraso o adelanto progresivo de la hora de inicio de sueño, hasta lograr a un horario ideal para el rendimiento del sujeto. En farmacología es la optimización del tratamiento médico mediante la búsqueda del momento del día que se maximizan los efectos positivos y minimizan los negativos.

CRONOTIPO: Fenotipo que expresa la organización temporal de un organismo. Un rasgo personal dinámico con base genética, que determina los hábitos en horarios de sueño y de actividad preferidos por cada individuo en particular. Determina la hora de mayor rendimiento y productividad, así como la hora preferida del día para estar activo o para dormir, en ausencia de obligaciones sociales. Un 25% de las personas se encuentran orientadas a la mañana (tipos matutinos o "alondras"), un 25% orientadas a la noche (tipos vespertinos o "búhos") y un 50% mantienen un cronotipo de tipo Intermedio, entre ambos grupos.

CRONOPATOLOGÍA: Estudio de la aparición rítmica o la exacerbación temporal de una enfermedad o la alteración de uno o más ritmos biológicos resultantes y/o contribuyendo a la enfermedad.

CURVA DE RESPUESTA DE FASE (PRC): Curva asimétrica que describe la magnitud del cambio de fase del sistema circadiano mediante la manipulación con exposición de agentes sincronizadores externos en diferentes horarios y diferentes intensidades. Un agente sincronizador puede adelantar, retrasar o no modificar los ritmos según su intensidad y el momento del día cuando sea aplicado, existiendo momentos de sensibilidad y momentos de refractariedad. Se pueden diseñar curvas de fase para cualquier agente ambiental que expuesto en determinados horarios pueda cambiar de forma predecible la fase de un ritmo.

CURVA DE RESPUESTA DE FASE (PRC) a la LUZ: Curva que describe la manipulación del sistema circadiano mediante la exposición a la luz. Los periodos de eficacia están durante la noche, en las transiciones de luz-oscuridad (amanecer o atardecer), la exposición al atardecer retrasa los ritmos circadianos y por la mañana los adelanta. Intensidades de luz de 3.000 a 100.000 lux y longitudes de onda de 446 a 477 nm del espectro de la luz generan una fuerte inhibición del NSQ y la producción de melatonina.

CURVA DE RESPUESTA DE FASE (PRC) a la MELATONINA: Curva que describe la manipulación del sistema circadiano mediante la exposición a la Melatonina Exógena. Los periodos de eficacia están durante el día, en las transiciones de luz-oscuridad (amanecer o atardecer). En forma inversa a la exposición a la luz, la melatonina al atardecer adelanta los ritmos circadianos y por la tarde los adelanta.

DELTA FASE: Es la variación del ángulo de fase. Cuando un ritmo circadiano particular τ (tau) es expuesto a un sincronizador ambiental (T) se genera una sincronización a T; si el ritmo en estudio tiene un τ (tau) de menor duración, la relación de fase (ϕ psi) es positiva y ocurre un avance de fase; si el ritmo en estudio tiene un τ (tau) de mayor duración, la relación de fase (ϕ psi) es negativa y ocurre un retraso de fase. los avances o retrasos de fase se llaman DELTA FASE $\Delta\phi$ (delta psi) y se expresan en minutos, horas o grados.

DESINCRONIZACIÓN: Alteración de la relación de fases entre dos ritmos, puede ser por la alteración de un ritmo con su sincronizador (desincronización externa) o por la alteración de la relación de fases entre dos ritmos de un mismo organismo (desincronización interna).

DÍA SUBJETIVO: En un ambiente de características constante, corresponde a la fase en que el organismo se comporta como si fuese la fase del día del ciclo natural día / noche del ambiente.

DORMIDOR CORTO: Personas que presentan un promedio menos de seis horas de sueño por noche. Se asocia con trastornos de la calidad del sueño y presentan un 12% más riesgo más riesgo de muerte que los que duermen las horas apropiadas.

DORMIDOR LARGO: Personas que presentan un promedio más de nueve horas de sueño por noche. Se asocia con trastornos de la calidad del sueño y presentan un 30% más riesgo más riesgo de muerte que los que duermen las horas apropiadas.

EFICIENCIA de SUEÑO (ES): Relación entre el tiempo de sueño y tiempo en cama. Porcentaje de sueño durante toda la permanencia del tiempo en cama (TIB) durante una noche deseada de sueño ($TTS/TIB*100$). En jóvenes se considera normal un valor mayor a 90%.

ENMASCARAMIENTO: Proceso que modifica la expresión de un ritmo biológico, aumentando (positivo) o disminuyéndolo (negativo), sin alterar la estructura interna del sistema circadiano. El enmascaramiento lo puede generar un evento externo al organismo (luminosidad) o evento interno (producción de calor)

ESCOTOPERIODO: Cantidad o proporción de horas de oscuridad dentro del ciclo de luz / oscuridad.

ESTRUCTURA DEL SUEÑO: El sueño presenta dos estados muy distintos, sueño No REM (75%) y sueño REM (25%) (Rapid Eye Movement). Por cada noche se producen entre 4 y 6 ciclos de sueño, cada uno con una duración periódica aproximada de 90 minutos. Cada ciclo muestra un enlentecimiento progresivo de las ondas cerebrales, comenzando con sueño N1 (transición: 5%), N2 (superficial: 50%) y N3 (profundo: 20%), hasta llegar a REM, que presenta una actividad cerebral desincronizada similar a un estado de vigilia.

FASE DE REFERENCIA: Fase elegida como referencia temporal para identificar y describir otras fases.

FASE: Momento determinado de un ciclo que caracteriza al ritmo, puede ser la mitad de un ciclo o su valor máximo o mínimo. En el ciclo de luz / oscuridad, la fase de luz es el día y la fase de oscuridad es la noche.

FATIGA: Sensación de cansancio físico y mental, *no* asociada a un aumento en la propensión al sueño. Característico del insomnio, pese al cansancio, presenta dificultad para dormir a cualquier hora del día.

FOTOPERIODO: Cantidad o proporción de horas de luz dentro del ciclo de luz / oscuridad.

FOTOTERAPIA: Terapia de resincronización de los trastornos del ritmo circadiano mediante la exposición lumínica en determinados momentos del día; la exposición por la mañana adelanta los ritmos circadianos y la exposición al atardecer lo retrasa.

FRECUENCIA o PERÍODO: duración de un ciclo, determinado por el número de ciclos de una variable en un determinado tiempo, representado como Hercio (Hz), ciclos por segundo.

HIGIENE DEL SUEÑO: Conjunto de hábitos y normas necesarias para intentar conseguir un sueño reparador. Se recomiendan horarios regulares, condiciones ambientales adecuadas, comer a horas regulares y evitar comidas copiosas, limitar la ingesta de sustancias estimulantes, reducir el tiempo de permanencia en la cama, evitar siestas largas, realizar ejercicio físico regular, evitar actividades excitantes previo al sueño, rutina de relajación que ayude a preparar mental y físicamente para ir a la cama.

HIPOTENSIÓN ORTOSTÁTICA: descenso de la presión arterial sistólica mayor de 20 mmHg y/o de la presión diastólica mayor de 10 mm Hg dentro de los 3 minutos de ortostatismo.

HOMEOSTASIS: Conjunto de fenómenos fisiológicos de autorregulación que mantienen al organismo en un estado de equilibrio, bajo el control del Hipotálamo y del sistema nervioso autónomo (SNA).

HOMEOSTASIS PREDICTIVA: Conjunto de fenómenos fisiológicos que permite al organismo dar respuestas anticipatorias previas a la aparición de los estímulos ambientales y lograr una mejor adaptación a ellas. Estas acciones determinan una organización periódica de las funciones biológicas.

HOMEOSTASIS REACTIVA: Conjunto de fenómenos fisiológicos que permite al organismo dar una respuesta apropiada ante los cambios del medio ambiente externo e interno.

HORA CIRCADIANA: (Circadian Time CT): Hora del sistema circadiano utilizado en situación de libre curso, que suele durar unas 25 horas. La Hora Circadiana 0 (cero) se puede utilizar para definir el inicio del día subjetivo al despertarse o al nadir de la temperatura corporal central, aproximadamente a las 04:00 horas.

IBUTTONS (Thermochron iButton®): Sensor de temperatura impermeable y no invasivo, colocado dentro de un botón de acero inoxidable de 16 × 6 mm. Según el modelo, puede registrar un rango de temperatura de entre -40°C y +85°C, tomados a intervalos equidistantes que varían de 1 a 255 min. Adherido con cinta sobre la piel, permite analizar las características del ritmo de temperatura corporal periférica.

INERCIA DE SUEÑO: Estado de confusión y somnolencia sufrido luego del despertar, ocurre al pasar de un estado de sueño a vigilia, especialmente si esto sucede en sueño profundo. El aturdimiento o desorientación se disipa paulatinamente y genera una disminución del nivel de alerta y del rendimiento. El tiempo que se tarda en sentirse totalmente despierto y funcional es de aproximadamente de 30 minutos (15 a 60 minutos).

INICIO de SECRECIÓN de MELATONINA al ATARDECER (DLMO: Dim Light Melatonin Onset): Marcador de fase del ritmo de melatonina utilizado para caracterizar el sistema circadiano. Se realiza mediante determinaciones plasmáticas o salivales de melatonina cada 30 minutos, en una situación de reposo y con una luminosidad menor de 30 lux. Se define DLMO al horario en el que se alcanza el umbral de una concentración de melatonina de 4 pg/ml en saliva o de 10 pg/mL en plasma o un 25% de la curva de amplitud. Ocurre entre las 19:30 y las 22:00 horas, aproximadamente 21:00 horas, unas 14 horas luego del final de su secreción. El fin de la curva de secreción de melatonina ocurre aproximadamente 07:00 horas. La concentración plasmática tiene valores nocturnos entre 100 o 200 pg/ml y valores diurnos de 10 a 30 pg/ml. El pico de secreción de melatonina en el humano ocurre entre las 02:00 y 06:00 de la mañana.

INSOMNIO: Dificultad persistente en INICIO, MANTENIMIENTO o DURACIÓN del sueño, a pesar de la existencia de adecuadas circunstancias y oportunidad para el mismo, se acompaña de un nivel significativo de malestar o deterioro importante del funcionamiento humano. Estado *hiperalerta* o “vigilancia las 24 horas del día” con dificultad para dormir durante el día.

INTERVALO R-R: Intervalo entre dos ondas R seguidas del complejo QRS de un registro de Electrocardiograma y determina la duración del latido cardíaco.

JET LAG o SÍNDROME de CAMBIO de ZONAS HORARIAS: Desorden del sueño, benigno y auto limitado, generado por la desincronización externa de fases luego de cruzar al menos dos zonas horarias demasiado rápidas en vuelos transmeridianos. se produce por una desincronización temporal entre el reloj circadiano interno y el ambiente (huso horario de la nueva hora local).

JET LAG SOCIAL: Trastorno circadiano generado por la discrepancia entre el reloj social y biológico, generado por diferentes patrones de sueño entre los días de semana y fines de semana, con una privación voluntaria del mismo por obligaciones sociales. La magnitud de la desalineación del sistema circadiano se relaciona con la diferencia entre el punto medio de sueño en días libres y días laborales.

LATENCIA de INICIO de SUEÑO (SOL): Tiempo transcurrido desde que se acuesta hasta que se inicia la primera época de sueño. En jóvenes se considera normal menor a 25 minutos.

LATENCIA REM: Tiempo transcurrido desde la primera época de sueño NREM hasta el primer sueño REM. Normalmente entre 70 a 110 minutos, se acorta ante una privación de sueño, síndrome de sueño insuficiente, depresión o narcolepsia.

LIBRE CURSO (FREE RUNNING): Fenómeno observado en los ritmos biológicos en situaciones de aislamiento total de señales y oscilaciones externas del ambiente, sin influencia de los sincronizadores ambientales y bajo circunstancias constantes. Los ritmos en curso libre son ligeramente más largos que las 24 horas del ciclo de luz y oscuridad de la Tierra y se aproximan a las 25 horas.

MAPA de FASES: Representación de las acrofases de los distintos ritmos circadianos, cuales mantienen un cierto orden secuencial durante el transcurso de un día. Puede sufrir una modificación transitoria por agentes externos o internos (desincronización), regresando cada ritmo a la normalidad (resincronización) con distinta velocidad.

MAPA DE FASES: Representación gráfica de la distribución de fases, acrofases o batifases, de un conjunto de ritmos biológicos de un organismo.

MARCAPASOS: Estructura biológica capaz de generar oscilaciones regulares de forma espontánea, el núcleo supraquiasmático del hipotálamo es la estructura de mayor jerarquía en la generación de los ritmos circadianos.

MELATONINA: Molécula producida por la glándula pineal que brinda información temporal acerca de la duración de la noche y del ciclo de luz / oscuridad ("hormona de la oscuridad") a todas las células del organismo, una señal química circulante y un transductor neuroendocrino necesario para sincronizar los ritmos circadianos ("marcapaso químico endógeno").

MESOR: valor medio de una variable a lo largo del tiempo estudiado.

MICRODESPERTAR: Aparición transitoria de actividad de vigilia cerebral durante 3 a 10 segundos dentro del sueño, precedido y continuado por sueño.

MICROSUEÑO: Sueño transitorio e involuntario de pocos segundos de duración presenta luego de una privación de sueño, asociado con una disminución marcada del rendimiento y un fuerte deseo de sueño.

MODELO de BORBÉLY de SUEÑO: El inicio del sueño se produce por la interacción de un proceso homeostático (Proceso S) y un proceso homeostático (Proceso C). Durante el transcurso del día el proceso circadiano sostiene a los sistemas neuronales de la vigilia y contrarresta la creciente influencia del proceso S. La disminución de la actividad del proceso C al inicio de secreción de melatonina, junto con el incremento del proceso S durante la vigilia prolongada por la acumulación de sustancias humores promueve el inicio del sueño a través de la acción del hipotálamo anterior.

NEUROMODULADOR: Sustancias endógenas productos del metabolismo, acumuladas y liberadas por terminales nerviosas actúan sinápticamente modulando la síntesis y/o liberación de un neurotransmisor.

NOCHE SUBJETIVA: En un ambiente de características constante, corresponde a la fase en que el organismo se comporta como si fuese la fase de noche del ciclo natural día / noche del ambiente.

NUCLEO SUPRAQUIASMÁTICO (NSQ): Par de núcleos del hipotálamo anterior que cumplen el rol de marcapasos y reloj biológico interno de mayor importancia en los vertebrados. Cuenta con unos pocos miles de neuronas (20.000) que generan y mantienen los ritmos circadianos de todas las células del organismo, así como la sincronización de las funciones biológicas con los ciclos ambientales de luz y oscuridad.

NUNATAK: Cadena y picos montañosos que sobresalen del campo de hielo antártico.

ORDEN TEMPORAL INTERNO: Relación normal entre las fases de los diversos ritmos biológicos de un organismo que favorece al bienestar del organismo.

PERÍODO: Duración de un ciclo de una variable biológica τ (tau), es variable entre sujetos, pero es constante para un propio individuo si se mantienen condiciones ambientales constantes (libre curso). El período τ (tau) mediante sincronizadores ambientales es modificado al período del mismo sincronizador ambiental T (TAU).

POLISOMNOGRAFÍA: Estudio de las características del sueño mediante el registro nocturno de variables biológicas relacionadas con el mismo, mediante una serie de canales: electroencefalografía para actividad cerebral (EEG), electrooculografía para movimientos oculares (EOG), electromiografía para movimientos de extremidades y tono muscular (EMG), electrocardiografía para actividad cardíaca (ECG), bandas torácica y abdominal para el registro del esfuerzo respiratorio, termistor o cánula de presión nasal para el análisis del flujo aéreo, oximetría de pulso, sensor de posición corporal y micrófono para registro del ronquido.

PRESIÓN ARTERIAL: Fuerza que ejerce la sangre sobre la pared de las arterias. La TENSIÓN ARTERIAL es la fuerza de resistencia de una magnitud similar a la presión arterial, que se opone en sentido contrario para evitar su distensión exagerada del vaso. La Tensión Arterial Sistólica (TAS) es el mayor valor de presión obtenido durante la eyección ventricular y la Tensión Arterial Diastólica (TAD) es el mínimo valor de presión observado durante la diástole.

PROCESO CIRCADIANO (PROCESO C): Según el modelo de Borbély corresponde a la oscilación circadiana sobre la tendencia a iniciar y finalizar el sueño al sueño, generado por cambios rítmicos en la expresión génica del reloj biológico central en el Hipotálamo (núcleo supraquiasmático), independiente de la vigilia y sueño previo.

PROCESO HOMEOSTÁTICO (PROCESO S): Según el modelo de Borbély corresponde a la presión homeostática por la necesidad de dormir, se incrementa con las horas vigilia y se disipa durante el transcurso del sueño. Relacionado con la acumulación de Adenosina durante el transcurso de la vigilia.

PROPORTIONAL INTEGRATION MODE (PIM): Método de análisis de actigrafía que calcula área bajo la curva para cada época. La integración digital refleja aceleración y amplitud del movimiento. No muestra la duración (Modo TAT) y frecuencia de movimientos (Modo ZCM).

REGLA CIRCADIANA (Ley de Aschoff): Concepto general por el cual los animales de hábitos nocturnos expuestos a un ambiente de luz constante tendrían un ritmo libre más prolongado que en condiciones de oscuridad constante y de mayor longitud cuanto más intensa sea la luz. Por el contrario, en los animales diurnos como el hombre, el nivel y la duración de la oscuridad actúan prolongando el ritmo de libre curso.

RELACIÓN (LF/HF): Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca que es considerado como indicador de la modulación simpática. Relación entre el componente baja frecuencia / alta frecuencia.

RELOJ BIOLÓGICO (CIRCADIANO): Estructura capaz de producir oscilaciones regulares que sirven como mecanismos temporizadores para el organismo, con un período relativamente estable y capaz de sincronizarse con los ciclos ambientales de 24 horas. El período del reloj biológico humano es cercano a unas 25 horas, con una capacidad de sincronizarse con el ambiente de ± 2 horas (23 a 27 horas), por lo cual existe un margen mayor para alargar los días biológicos que para acortar. El reloj es sincronizado a 24 horas por influencia de marcadores de tiempo ambientales, principalmente la luz solar.

RITMO: Secuencia de eventos que se repite de forma regular a lo largo del tiempo.

RITMO BIOLÓGICO: Oscilación de una función fisiológica durante un período regular de tiempo, una fluctuación que se repite en una determinada cantidad de tiempo.

RITMO CIRCADIANO: Ritmo biológico que se aproximan a un periodo de 24 horas ± 4 horas (20 a 28 horas). Son los ritmos de mayor relevancia en los humanos, destacándose el ciclo de sueño y vigilia. Los ritmos circadianos están determinados genéticamente y regulados por el núcleo supraquiasmático del hipotálamo.

RITMO CIRCALUNAR: Ritmo con período aproximado de 29,5 días.

RITMO CIRCAMERAL: Ritmo con período aproximado de 12,4 horas (12:24)

RITMO CIRCANUAL: Ritmo es cercano a un año tropical (365,25 días)

RITMO INFRADIANO: Ritmo con período superior a 28 horas.

RITMO MENSUAL: Ritmo con período aproximado de 30 días ± 5 días.

RITMO ULTRADIANO: Ritmo con período inferior a 20 horas.

SINCRONIZACIÓN: Capacidad de un organismo de ajustar del tiempo de los ritmos biológicos a los ciclos del medio ambiente, manteniendo fases estables en relación al ambiente.

SINCRONIZADOR o ZEITGEBER: Agente ambiental capaz de ajustar la fase de un ritmo biológico. Denominado como “donante de tiempo”, del alemán ZEITGEBER. El sincronizador más poderoso para los seres vivos es la luz solar, aunque también ejercen su influencia secundaria la temperatura ambiental, los hábitos sociales y la disponibilidad de alimentos. Los sincronizadores secundarios adquieren relevancia cuando no se encuentra presente el Zeitgeber principal.

SÍNDROME AFECTIVO ESTACIONAL (SAD): Desorden estacional relacionado con los patrones de luz y oscuridad ambiental, caracterizado por episodios de ánimo depresivo durante los meses de invierno en latitudes extremas con pocas horas de luz solar. La falta de luz solar retrasa el ritmo de secreción de melatonina y la capacidad de sincronizar ritmos fisiológicos, como el nivel de alerta y actividad, estado de ánimo y rendimiento cognitivo. Se caracteriza por diversos grados de depresión, ansiedad, cansancio, falta de concentración, aumento de apetito por carbohidratos, aumento de peso y trastornos del sueño.

SÍNDROME DE ADELANTO DE FASE: Trastorno de sueño caracterizado por la incapacidad para permanecer despierto hasta la hora deseada de acostarse, o incapacidad para continuar durmiendo hasta la hora deseada de despertarse. Afecta 1% de la población adulta y aumenta con la edad.

SÍNDROME de INVERNADA o WINTER OVER: Es una condición subclínica y transitoria, frecuente en la segunda mitad de una campaña antártica anual. Conjunto de síntomas caracterizados por diversos grados de trastornos del sueño, deterioro cognitivo, sentimientos negativos, conflictos interpersonales, disminución de higiene personal y aumento del apetito.

SÍNDROME DE RETRASO DE FASE: Trastorno de sueño caracterizado por una desincronización entre el ciclo de sueño y vigilia con el patrón de horario social. Se mantiene de forma crónica dificultades para conciliar el sueño y despertarse en horarios deseados, por sufrir un retraso en el horario de sueño deseado. Se mantiene un patrón estable de sueño-vigilia de 24 h, con un sueño de calidad y duración normal, aunque con una fase de retraso. Es más frecuente en la adolescencia.

SÍNDROME de SUEÑO INSUFICIENTE: Privación crónica del sueño inducido por el comportamiento. Se caracteriza por un sueño de menor duración al esperado para su edad, debido a una restricción voluntaria y persistente del tiempo en cama, ya sea por obligaciones laborales o uso del despertador.

SÍNDROME HIPERNICTAMERAL o de LIBRE CURSO (FREE RUNNING): Trastorno caracterizado por la incapacidad del sistema circadiano de ajustarse a un ritmo de 24 horas por falta de recepción o respuesta a los sincronizadores ambientales, presentando un ritmo de sueño y vigilia cercano a las 25 horas. Cada día el reloj circadiano se atrasa una hora, sufriendo un trastorno periódico del sueño con insomnio cada 8 a 12 días.

SÍNDROME T3 POLAR: Hipotiroidismo subclínico relacionado con la disminución de la función tiroidea con el frío durante el invierno polar, con efectos sobre el humor, estado de ánimo y desempeño cognitivo.

SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO (SNA): Conjunto de neuronas y vías nerviosas que controlan el funcionamiento de los aparatos y sistemas del organismo, con el objetivo de mantener un equilibrio fisiológico bajo el control de los procesos no voluntarios de nuestro organismo.

SOMNOLENCIA: Sensación de cansancio físico y mental *con* aumento en propensión al sueño. Consecuencia típica de la privación del sueño y del sueño insuficiente, en caso que lo dese puede conciliar el sueño durante el día. Puede ser un síntoma de la deficiencia aguda o crónica del sueño, desincronización circadiana, un estado inflamatorio sistémico o por medicamentos.

SUEÑO PROFUNDO: Sueño lento o etapa N3 del sueño No REM, predomina en el primer tercio de la noche y es la etapa de mayor recuperación física y consolidación de la memoria. El sueño lento depende del periodo de vigilia previa, aumenta cuando la persona ha poco las noches previas, siendo un indicador de la deuda del proceso homeostático.

SUEÑO REM: Etapa relacionada a la ensoñación y consolidación de la memoria emocional, que predomina en el último tercio de la noche. Presentan desincronización de la actividad eléctrica cerebral, atonía muscular y descargas episódicas de movimientos oculares rápidos, con una serie de signos vegetativos, como el

aumento de la variabilidad de la tensión arterial, de la frecuencia cardíaca y una tendencia a la pérdida del control sobre la temperatura corporal.

SUEÑO: Proceso fisiológico activo y recurrente fundamental para la salud física y mental, una disminución periódica, parcial y reversible del nivel de conciencia. La función primordial sería la reparación de tejidos y recuperación homeostática, mantenimiento de las sinapsis para la integridad de la red neuronal y consolidación de la memoria. La duración de sueño adecuada es la suficiente para que una persona se encuentra alerta y en buen estado de salud al día siguiente, duración que varía con la edad, en un adulto corresponde entre 7 a 9 horas de sueño por noche.

TIEMPO EN CAMA (TIB): Período de tiempo desde que una persona se acuesta y apaga las luces hasta que se levanta al día siguiente.

TIEMPO TOTAL de SUEÑO (TTS): Cantidad de sueño durante el tiempo en cama (TIB) durante una noche deseada de sueño ($TTS = Vigilia - TIB$). No incluye períodos de vigilia entre sueño y despertares.

TIME ABOVE THRESHOLD (TAT): Método de análisis de actigrafía que determina la cantidad de tiempo por época (1 min) en que el nivel de la señal por el movimiento está por encima del umbral (0.1 a 0.2 g).

TRASTORNOS CIRCADIANOS DEL RITMO SUEÑO / VIGILIA: Trastornos del sueño secundarios a un mal "alineamiento" entre el patrón del sueño / vigilia del paciente y el patrón sueño / vigilia del ambiente, considerado como normal y necesario para una establecer una vida en sociedad.

TRABAJO POR TURNOS: Trabajo con horarios nocturnos (19:00 a 07:00 horas), horarios rotativos (mañana, tarde, noche) u horarios irregulares. En países industrializados representa un 20% de los trabajadores, de los cuales un cuarto sufre un trastorno de sueño a causa de la desincronización circadiana y privación del sueño, con dificultades para mantener la alerta durante la noche y dificultades para conciliar el sueño durante el día.

TRATADO ANTÁRTICO: Acuerdo internacional firmado en 1959 con el objetivo de asegurar el uso pacífico, la libertad de investigación científica y la cooperación internacional en la Antártida. Hoy tiene 54 Partes, (29 consultivos y 25 adherentes), sus signatarios originales fueron Argentina, Australia, Bélgica, Chile, Estados Unidos, Francia, Reino Unido, Japón, Nueva Zelanda, Noruega, Sudáfrica y la Unión Soviética.

VARIABILIDAD de la FRECUENCIA CARDÍACA (VFC): Análisis del ritmo cardíaco que permite la valoración indirecta de la actividad autonómica, mediante la evaluación de la interacción simpática / parasimpática que determina que la duración de los latidos cardíacos fluctúe a lo largo del tiempo.

ZERO CROSSING MODE (ZCM): Método de análisis de actigrafía que determina el número de veces por época (1 min) que el nivel de señal de actividad cruza cero. Ignora amplitud y aceleración del movimiento.

ZONA MUERTA: Franja de la curva de respuesta de fase donde *no* hay respuesta a la manipulación del sistema circadiano la exposición a los agentes sincronizadores externos. En el caso de la Luz ocurre durante el día, en el caso de la melatonina durante la noche.

9. ANEXOS

9.1. Anexo I. Antártida

El término “Antártida” proviene de dos palabras griegas: “anti” (opuesto de) y “arktos” (oso), utilizando “arktos” para referirse al polo norte, donde se encontraba la constelación Osa Menor (estrella polar del norte). El continente Antártico abarca a todas las tierras y mares por debajo del círculo polar antártico (60°S). La Antártida hace referencia a todas las tierras emergidas dentro de este sector, cubriendo una superficie aproximada de 14.000.000 km², de los cuales 99% se encuentra cubiertas por hielo. La Antártida es el continente más frío, seco, ventoso e inhóspito del planeta; su acceso es dificultoso y la supervivencia humana solo se logra mediante un complejo sistema de apoyo tecnológico y logístico. La inclinación del eje terrestre determina que la radiación solar recibida sea menor en las bajas latitudes, especialmente durante el invierno, explicando en parte las bajas temperaturas. Por esta misma razón existen días prolongados en verano y noches en invierno que pueden durar meses, por estar el sol debajo del horizonte. En invierno la iluminación externa no excede los 100 lux, en verano la iluminación directa del sol es de 100.000 lux y 1.000 lux en un día nublado (Arendt, 2012) (Chen et al., 2016)(Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020f).

La Antártida tiene un tamaño mayor que el de Australia y algo menor que el de América del Sur. La distancia a África es de 3.800 km, a Australia de 2.500 km y a Sudamérica de 1.000 km, separado este último por el pasaje Drake. Es un continente rodeado por océanos, a diferencia del Ártico (un océano rodeado por continentes). Presenta una región central de forma circular, la Antártida Oriental, y un apéndice que se extiende y adelgaza hacia el norte, la Antártida Occidental. La Antártida Oriental da frente hacia el Océano Índico, posee un radio de algo más de 2.000 km, y se halla cubierta por un gran domo de hielo, que llega a alcanzar profundidades mayores a 4.000 m. El paisaje es monótono, formado por una extensa planicie de hielo (Meseta Polar), interrumpida solo por algunas cadenas montañosas y unos pocos cerros aislados que sobresalen del campo de hielo (Nunataks). La línea costera es regular y presenta un frente de hielo casi continuo de unos 50 metros de altura, con escasos sitios de playas libres. La Antártida Occidental da frente a los Océanos Atlántico y Pacífico, contiene a la Península Antártica, un archipiélago que se prolonga 1.200 km hacia el norte, cubierta por hielo y glaciares, cuyas alturas promedio llegan a los 2.000 m. El paisaje es mucho más variado, dominado por cadenas montañosas y fiordos ocupados por glaciares, una línea costera irregular, con mayor presencia de playas y puertos naturales libres de hielo. Una considerable parte del basamento sobre el que se apoya el hielo se halla por debajo del nivel del mar. La división entre las regiones oriental y occidental es abrupta y está dada por una cadena montañosa que se extiende a lo largo de 3.500 km, entre el Mar de Ross y el Mar de Weddell, conocida como los Montes Transantárticos, cuyas alturas máximas trepan hasta los 4.500 metros (Quevedo Paiva, 2001a) (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020f).

Es la zona remota más elevada del planeta, su altura media es algo superior a los 2.000 metros sobre el nivel del mar, con más del 50% de su superficie por encima de los 2.000 metros y cerca de un 25% por encima de los 3.000 metros de altura. Dado que la temperatura desciende un grado por cada 100 metros de altura, posee temperaturas más bajas que el Ártico. El registro más bajo de la temperatura se obtuvo el 21 de julio de 1983, con -89.2°C en la Base Vostok. El comportamiento de las temperaturas es diferente según las

regiones, alrededor de las costas y península antártica la temperatura de verano ronda entre 0°C y +5°C, en invierno desciende entre -10°C y -40°C. Las condiciones climáticas de la meseta polar son mucho más extremas, la temperatura de verano es cercana a -20°C y en invierno inferior a -60°C. La circulación de vientos sobre la meseta polar presenta una dinámica circular, el aire frío de la zona polar es denso y desciende gradualmente hacia el polo. La rotación de la Tierra desvía esas masas de aire en un sentido anti-horario sobre el polo sur, generando vientos constantes del Oeste, que rodean y aíslan al continente impidiendo el ingreso de aire más cálido de zonas más templadas. El aire polar más frío y denso, fluye hacia los márgenes del continente, generando un flujo centrífugo de vientos en las zonas costeras. Luego se generan vientos costeros del Este, con ráfagas repentinas que pueden alcanzar velocidades de 200 km/h. (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020f).

La Antártida es uno de los sitios más secos del planeta, y esto se debe a su posición polar, sus corrientes de vientos y la altura. El aire frío es capaz de retener menor humedad que el aire templado y la corriente circular de los vientos impide que ingresen corrientes más templadas del norte. Considerando los índices de precipitaciones, pueden identificarse en la Antártida 3 zonas: 1) Meseta polar: precipitaciones muy escasas y promedio anual menor a 100 mm (comparable al desierto del Sahara), 2) Costas orientales: precipitaciones entre 200 y 600 mm (condiciones áridas a semiáridas), 3) Península Antártica: precipitaciones que alcanzan 1000 mm (condiciones subhúmedas a húmedas). Todas las precipitaciones en la Antártida ocurren en forma de nieve, con excepción de las lluvias estivales en algunos sectores del norte de la península antártica (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020f).

La Antártida es un continente conservado y protegido, dedicado a la paz y la ciencia. Con el objetivo de asegurar la libertad de investigación científica, la promoción de la cooperación internacional y garantizar que el sexto continente tuviera usos exclusivamente pacíficos, a fines de 1959 en Washington, Argentina, Australia, Bélgica, Chile, Estados Unidos, Francia, el Reino Unido, Japón, Nueva Zelanda, Noruega, Sudáfrica y la Unión Soviética firmaron el Tratado Antártico. Entró en vigor en 1961, al obtener la ratificación parlamentaria de todos sus signatarios originales. La Argentina es Parte Consultiva (con voz y voto) desde su entrada en vigencia. El Tratado tiene hoy 54 Partes, (29 consultivos y 25 adherentes), las cuales se reúnen anualmente para asegurar su adecuada implementación. Siete de los 12 países iniciales mantenían en aquel momento reclamos de soberanía en distintos sectores de la Antártida. Estados Unidos y la Unión Soviética reservaron sus fundamentos para efectuar reivindicaciones territoriales sobre la región antártica en un futuro. El Tratado establece un “congelamiento” de estos reclamos mientras esté vigente, no se efectuarán nuevas reclamaciones de soberanía ni se ampliarían las ya existentes. Prohíbe realizar explosiones nucleares, eliminar desechos y cualquier actividad de carácter militar en el continente, con excepción del apoyo logístico con fines pacíficos realizado por personal militar (León Wöppke & Jara Fernández, 2013) (Secretariat of the Antarctic Treaty, 2015) (Ejército Argentino, 2018) (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020g).

La presencia argentina en Antártida se remite a los primeros tiempos de la nacionalidad, inicialmente hubo un interés en el control de la pesca, luego en la actividad meteorológica y científica. La primera base permanente e ininterrumpida en el continente se remonta al año 1904, un observatorio meteorológico adquirido por la Argentina en la isla Laurie, Orcadas del Sur, utilizando como primer buque la corbeta Uruguay. El Coronel Hernán Pujato diseñó un nuevo plan de colonización y desarrollo del continente,

plasmado por la adquisición de un buque rompehielos, la instalación de bases por debajo del círculo polar y la fundación del Instituto Antártico Argentino en el año 1951, para guiar las actividades científicas dentro de un proyecto antártico nacional. La Argentina reivindica soberanía sobre el denominado “Sector Antártico Argentino”, definido por el paralelo 60° Sur y el Polo Sur, los meridianos 25° y 74° de longitud Oeste. Estos dos últimos corresponden a los límites extremos longitudinales este y oeste de la Argentina. La superficie es de 1.461.597 km², de los cuales 965.314 km² corresponden a tierra firme. Nuestro país fundamenta su reclamo en virtud de múltiples elementos, entre los que se destacan la contigüidad geográfica y geológica con el territorio argentino; la instalación y ocupación permanente e ininterrumpida de bases antárticas y el desarrollo de actividad científica por más de un siglo; y la herencia histórica de España. El Sector Antártico Argentino forma parte del territorio de la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur (Ley 23.775) (Quevedo Paiva, 2001b) (Quevedo Paiva, 2001e) (León Wöppke & Jara Fernández, 2013) (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020e).

La República Argentina es el único país que cuenta con una estación científica permanente en la Antártida desde 1904. Nuestro país cuenta con bases, refugios, buques, aeronaves y la capacidad de operar en territorio antártico en apoyo de su programa científico. La Argentina administra trece (13) bases en la Antártida, de las cuales seis son permanentes (operativas todo el año) y siete temporarias (operativas sólo en verano). De ellas, dos son administradas directamente por la Cancillería: Carlini (permanente) y Brown (temporaria), las demás bases son administradas por el Comando Conjunto Antártico (Ministerio de Defensa). Ellas son Base Orcadas, Base Marambio, Base Esperanza, Base San Martín y Base Belgrano II (permanentes); y las bases temporarias Melchior, Decepción, Cámara, Primavera, Petrel y Matienzo. La base Petrel se encuentra en un plan de remodelación y paso a base permanente, estableciendo un nuevo puente aéreo y logístico (Santillana, 2013) (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020b).

La Base Belgrano II es la segunda de tres bases antárticas argentinas permanentes que fueron denominadas originalmente Base de Ejército General Belgrano. La primera de las tres (Belgrano I) fue instalada en 1955 bajo el interior del hielo de la Barrera de Hielos Filchner por el General Hernán Pujato. En su primer año constituyó la base más austral del planeta y fue posible gracias a la primera penetración del pack del Mar de Weddell por el rompehielos ARA Gral. San Martín. Por la inestabilidad del hielo donde se encontraba, en 1979 Belgrano I fue evacuada y relevada por Belgrano II, inaugurada el 5 de febrero de 1979. La Base Belgrano III fue instalada en 1980 en el extremo norte de la Isla Berkner, pero debió ser evacuada en 1984 debido a la fracturación del hielo sobre el cual estaba asentada. La Base Belgrano II es la más austral de las bases de la República Argentina y la tercera de las permanentes a nivel mundial, siendo la base antártica más austral del mundo emplazado sobre roca firme. Desde Belgrano I partió la Primera Expedición Terrestre Argentina que alcanzó el Polo Sur Geográfico en el año 1965 y desde Belgrano II la Segunda Expedición Terrestre de Argentina al Polo Sur Geográfico en el año 2000 (Quevedo Paiva, 2001c) (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020a).

La Dirección Nacional del Antártico (DNA) realiza la programación, planeamiento, coordinación, dirección, control y difusión de la actividad antártica argentina, a fin de lograr el cumplimiento de los objetivos, políticas y prioridades de la Política Nacional Antártica. El Instituto Antártico Argentino (IAA) es el organismo científico encargado de definir, desarrollar, dirigir, controlar, coordinar y difundir la actividad científico-tecnológica

argentina en la Antártida, con el objetivo de respaldar los intereses argentinos en la región, en el marco de la plena vigencia del Tratado Antártico y en estrecha comunicación con la comunidad científica nacional e internacional. El Plan Anual Antártico, elaborado por el IAA, abarca todas aquellas actividades científicas previstas para cada campaña. Las bases antárticas dependientes del Comando Conjunto Antártico de las Fuerzas Armadas ejecutan las operaciones logísticas de apoyo a las actividades científico-técnicas, búsqueda, rescate y salvamento y apoyo al turismo, a fin de contribuir con el cumplimiento del Plan Anual Antártico (Ejército Argentino, 2018) (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020c) (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2020d).

La Antártida es un laboratorio natural único para las ciencias sociales y del comportamiento. No tiene habitantes permanentes ni indígenas, sin embargo, desde hace más 100 años, medio centenar de naciones despliega una reducida cantidad de voluntarios, seleccionados para permanecer durante los meses de verano o durante todo un año, exponiéndose a la adversidad del continente. El comportamiento psicosocial se ve afectado por el aislamiento del mundo exterior, la distancia con familiares y amigos compromete la estabilidad emocional. Al mismo tiempo, el confinamiento prolongado en espacios reducidos puede generar tensiones sociales, falta de privacidad y conflictos de convivencia, con dificultades en la adaptación grupal. Las crisis personales, como la enfermedad o muerte de un familiar, problemas financieros o deterioro de las relaciones matrimoniales se magnifican por la distancia. El confinamiento de grupos pequeños en espacios reducidos se vincula con un incremento de estado de ánimo negativo y magnificación de tensiones sociales por suceso triviales (Mocellin et al., 1991) (Peri, Barbarito, et al., 2000) (Palinkas, 2003) (Palinkas et al., 2004) (Rusell Foster & Kreitzman, 2005) (Palinkas & Suedfeld, 2008) (Wan et al., 2011) (M. G. Barbarito, 2011) (Zimmer et al., 2013) (G. Sandal, 2018) (Zivi et al., 2020) (Maggioni et al., 2020).

La exposición prolongada a tales condiciones puede conducir a una serie de síntomas agrupados bajo el nombre del Síndrome de la Invernada o Winter Over, caracterizados por: 1) Manifestaciones físicas: trastornos del sueño (baja calidad y cantidad de sueño, insomnio, pesadillas, somnolencia diurna, retraso de fase circadiana), trastornos neurológicos (cefaleas, dolores inespecíficos, disminución de la atención, concentración y memoria), trastornos gastrointestinales (cambios de apetito, pérdida o aumento de peso, dolores intestinales); 2) Manifestaciones psicológicas: depresión, ansiedad, aburrimiento, apatía e irritabilidad, disminución de la higiene personal y de la motivación; 3) Manifestaciones sociales: problemas de adaptación, conflictos interpersonales, auto exclusión, miedo de ser despreciado, búsqueda excesiva de ayuda, agresión verbal o física, desinterés en los otros, exageración en los incidentes disminución de las actividades de esparcimiento o demostración evidente de rechazo a participar en las mismas; 4) Manifestaciones ocupacionales: perfeccionamiento o interés excesivo por el trabajo, bajo cumplimiento de las obligaciones, incapacidad para delegar o para trabajar en equipo, excesivas ausencias en el trabajo, mayor toma de riesgos y excesivo número de accidentes. Este síndrome es considerado una condición subclínica transitoria, ya que la severidad y la duración de los síntomas no suelen ser lo suficientemente graves como para considerarlo una enfermedad y remiten sin ninguna intervención clínica cuando regresan a sus hogares. Representan un fracaso de la capacidad de afrontamiento y adaptación a un ambiente peligroso incapaz de controlar. Los síntomas guardan un patrón frecuente durante el tercer trimestre de una misión anual, que parece debido a factores psicosociales más que al medio ambiente estresante (M. Barbarito et al., 2001)

(Palinkas, 2003) (Palinkas et al., 2004) (Russell Foster & Kreitzman, 2005) (Palinkas & Suedfeld, 2008) (M. G. Barbarito, 2011) (Zimmer et al., 2013) (Pagel & Choukèr, 2016) (Zivi et al., 2020).

A pesar de la hostilidad del medio ambiente, se considera que es el entorno social es una de las principales causas de estrés en la Antártida. El impacto del aislamiento y el confinamiento también puede variar entre y dentro de los individuos, dependiendo de la experiencia previa de la expedición, la cohesión de la tripulación, los roles profesionales y del grupo social, las estrategias de afrontamiento y las fuentes de apoyo social. La mayoría de los sujetos y los grupos logran adaptarse al ambiente polar, completando sus actividades y cumpliendo con los objetivos de la misión, logrando una cohesión social y una readaptación normal al regreso a su vida previa. Observaciones realizadas previamente sobre la Base Belgrano II detectaron un uso satisfactorio de las estrategias de enfrentamiento y toma de decisiones, para adaptarse al medio ambiente antártico (Peri et al., 1998) (Peri, Scarlata, et al., 2000) (M. Barbarito et al., 2001) (G. M. Sandal et al., 2018) (Maggioni et al., 2020). Se describen tres rasgos del carácter fundamentales para el éxito de las misiones polares: capacidad para realizar el trabajo, estabilidad emocional y compatibilidad social (Palinkas & Suedfeld, 2008) (Pagel & Choukèr, 2016).

Finalmente, se reportan efectos positivos en la mayoría de los expedicionarios, que surgen de haber superado con éxito los desafíos de la misión en un ambiente inhóspito. El individuo que busca desafíos elevados obtiene una mayor autoestima al cumplirlos, exhibiendo mejoras en el rendimiento y el bienestar durante largos periodos de aislamiento y confinamiento en ambientes extremos. Los efectos positivos llevan a una mayor fortaleza, confianza y estabilidad emocional, mejor tolerancia y adaptación con los demás. La convivencia en un ambiente confinado obliga a compartir y buscar la unidad del grupo; presentan menos responsabilidades de la vida social y familiar cotidiana; pueden tener un mayor tiempo libre para la recreación, realizar deportes de aventura, hobbies y pasatiempos, recibir una buena calidad de los alimentos e instalaciones cómodas y modernas. Un viaje desde una vida cotidiana a una región polar es considerado una fuente de orgullo y elevada autoestima. Lograr adaptarse a un entorno peligroso e imposible de controlar permite desarrollar un crecimiento personal saludable y un retorno en mejores condiciones. Muchos participantes califican la internada como entre las mejores experiencias de su vida, sienten que han aprendido, se han vuelto más seguros de sí mismo y tolerantes con los demás, han mejorado sus habilidades interpersonales y han crecido como individuos (M. Barbarito et al., 2001) (Palinkas, 2003) (Palinkas et al., 2004) (Palinkas & Suedfeld, 2008) (Zimmer et al., 2013).

9.2. Anexo II. Diario de Sueño

ID _____	AGENDA DE SUEÑO: Contestar las preguntas al levantarse o luego de desayunar
----------	---

Día: 1 Fecha _____	Ayer me acosté (apagué la luz para dormir) a las _____ hs. Hoy me levanté a las _____ hs. El día de ayer dormí siesta (Tachar lo que no corresponde): SI / NO En caso de que sí indicar la hora: desde las _____ hs hasta las _____ hs. MUY IMPORTANTE: Si durmió más siestas (aunque sean muy breves) indíquelo al dorso de la hoja, consignando fecha, hora de inicio y hora de fin.
---	--

Día: 2 Fecha _____	Ayer me acosté (apagué la luz para dormir) a las _____ hs. Hoy me levanté a las _____ hs. El día de ayer dormí siesta (Tachar lo que no corresponde): SI / NO En caso de que sí indicar la hora: desde las _____ hs hasta las _____ hs. MUY IMPORTANTE: Si durmió más siestas (aunque sean muy breves) indíquelo al dorso de la hoja, consignando fecha, hora de inicio y hora de fin.
---	--

Día: 3 Fecha _____	Ayer me acosté (apagué la luz para dormir) a las _____ hs. Hoy me levanté a las _____ hs. El día de ayer dormí siesta (Tachar lo que no corresponde): SI / NO En caso de que sí indicar la hora: desde las _____ hs hasta las _____ hs. MUY IMPORTANTE: Si durmió más siestas (aunque sean muy breves) indíquelo al dorso de la hoja, consignando fecha, hora de inicio y hora de fin.
---	--

ID _____	AGENDA DE SUEÑO: Contestar las preguntas al levantarse o luego de desayunar
----------	---

Día: 4 Fecha _____	Ayer me acosté (apagué la luz para dormir) a las _____ hs.
	Hoy me levanté a las _____ hs.
	El día de ayer dormí siesta (Tachar lo que no corresponde): SI / NO
	En caso de que sí indicar la hora: desde las _____ hs hasta las _____ hs.
	MUY IMPORTANTE: Si durmió más siestas (aunque sean muy breves) indíquelo al dorso de la hoja, consignando fecha, hora de inicio y hora de fin.

Día: 5 Fecha _____	Ayer me acosté (apagué la luz para dormir) a las _____ hs.
	Hoy me levanté a las _____ hs.
	El día de ayer dormí siesta (Tachar lo que no corresponde): SI / NO
	En caso de que sí indicar la hora: desde las _____ hs hasta las _____ hs.
	MUY IMPORTANTE: Si durmió más siestas (aunque sean muy breves) indíquelo al dorso de la hoja, consignando fecha, hora de inicio y hora de fin.

Día: 6 Fecha _____	Ayer me acosté (apagué la luz para dormir) a las _____ hs.
	Hoy me levanté a las _____ hs.
	El día de ayer dormí siesta (Tachar lo que no corresponde): SI / NO
	En caso de que sí indicar la hora: desde las _____ hs hasta las _____ hs.
	MUY IMPORTANTE: Si durmió más siestas (aunque sean muy breves) indíquelo al dorso de la hoja, consignando fecha, hora de inicio y hora de fin.

Día: 7 Fecha _____	Ayer me acosté (apagué la luz para dormir) a las _____ hs.
	Hoy me levanté a las _____ hs.
	El día de ayer dormí siesta (Tachar lo que no corresponde): SI / NO
	En caso de que sí indicar la hora: desde las _____ hs hasta las _____ hs.
	MUY IMPORTANTE: Si durmió más siestas (aunque sean muy breves) indíquelo al dorso de la hoja, consignando fecha, hora de inicio y hora de fin.

9.3. Anexo III. Escala de somnolencia de Epworth

A lo largo del último mes, ¿Qué posibilidad de **dormitar** tuvo **durante el día** en cada una de las siguientes situaciones?

- Aun cuando no realizase alguna de ellas trate de imaginar qué le ocurriría si la llevase a cabo.
- Imagine todas las situaciones **FUERA de su trabajo**.
- Marque con una cruz la respuesta correcta para cada situación.

	0: Nunca dormitaría	1: Pocas posibilidades de dormir	2: Es posible que dormite	3: Grandes posibilidades de dormir
1. Sentado leyendo				
2. Viendo la televisión				
3. Sentado, inactivo, en un lugar público (por ej. un teatro, un acto público o una reunión)				
4. Como pasajero en un coche una hora seguida				
5. Descansando recostado por la tarde cuando las circunstancias lo permiten.				
6. Sentado charlando con alguien				
7. Sentado tranquilo, después de un almuerzo sin alcohol				
8. En un coche, al pararse unos minutos en el tráfico (como conductor o acompañante en forma indistinta).				

9.4. Anexo IV. Cuestionario Pittsburgh de Calidad de Sueño

Las siguientes preguntas se refieren a su forma habitual de dormir únicamente **durante el último mes**, en promedio. Intente que sus respuestas se ajusten de la manera más exacta a lo ocurrido durante la mayoría de los días y noches del último mes. Por favor, intente responder a todas las preguntas.

1. En su casa, ¿a qué hora se acuesta normalmente por la noche?	Escriba la hora habitual en que se acuesta:	____horas____minutos
2. ¿Cuánto tiempo demora en quedarse dormido en promedio?	Escriba el tiempo en minutos:	_____minutos
3. ¿A qué hora se levanta habitualmente por la mañana?	Escriba la hora habitual de levantarse:	____horas____minutos
4. ¿Cuántas horas duerme cada noche? (El tiempo puede ser diferente al que usted permanezca en la cama.)	Escriba las horas que crea que durmió:	____horas____minutos

5. Durante el mes pasado... ¿cuántas veces ha tenido usted problemas para dormir a causa de...?	0. Ninguna vez en el último mes	1. Menos de una vez a la semana	2. Una o dos veces a la semana	3. Tres o más veces a la semana
a. No poder quedarse dormido en la primera media hora				
b. Despertarse durante la noche o de madrugada				
c. Tener que levantarse para ir al baño				
d. No poder respirar bien				
e. Toser o roncar ruidosamente				
f. Sentir frío				
g. Sentir calor				
h. Tener sueños feos o pesadillas				
i. Tener dolores				
j. Otras razones (por favor, descríbalas)				
6. Durante el mes pasado... ¿cuántas veces ha tomado medicinas (recetadas por el médico o por su cuenta) para dormir?				
7. Durante el mes pasado... ¿cuántas veces ha tenido problemas para permanecer despierto mientras conducía, comía, trabajaba, estudiaba o desarrollaba alguna otra actividad social?				

8. Durante el último mes, ¿qué tanto problema le ha traído a usted su estado de ánimo para realizar actividades como conducir, comer, trabajar, estudiar o alguna otra actividad social?	0. Ningún problema	1. Poco problema	2. Moderado problema	3. Mucho problema
--	--------------------	------------------	----------------------	-------------------

9. Durante el último mes, ¿cómo calificaría en conjunto la calidad de su sueño?	0. Muy buena	1. Bastante buena	2. Bastante mala	3. Muy mala
---	--------------	-------------------	------------------	-------------

10. REFERENCIAS

- Adan, A., Archer, S., Hidalgo, M. P., Di Milia, L., Natale, V., & Randler, C. (2012). Circadian typology: A comprehensive Review. *Chronobiology International*, 29(9), 1153–1175. <https://doi.org/10.3109/07420528.2012.719971>
- Affanni, J., & Cervino, C. (2002). Capítulo 77: Fisiología de la Vigilia y el Sueño. In H. Cingolani & A. Houssay (Eds.), *Fisiología humana de Houssay* (7th ed., pp. 1040–1074).
- Aguirre, A. (2015). Capítulo 37.1: Trastorno del Ritmo Circadiano Afectivo Estacional. In Sociedad Española de Sueño (Ed.), *Tratado de Medicina del Sueño* (1st ed., pp. 359–363). Editorial Medica Panamericana.
- Aguirre Berrocal, A. (2015). Capítulo 37.2: Trastorno del Ritmo Circadiano Afectivo Estacional. In Sociedad Española de Sueño (Ed.), *Tratado de Medicina del Sueño* (pp. 364–365). Editorial Medica Panamericana.
- Ajjimaporn, A., Ramyarangsi, P., & Siripornpanich, V. (2020). Effects of a 20 - Min Nap after Sleep Deprivation on Brain Activity and Soccer Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 41(14), 1009–1016. <https://doi.org/10.1055/a-1192-6187>
- Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, A., Shannon, D., Barger, C., & Cohen, R. (1981). Power Spectrum Analysis of Heart Rate Fluctuation: A Quantitative Probe of Beat-to-Beat Cardiovascular Control. *Science*, 213(July), 1–3. <https://doi.org/10.1126/science.6166045>
- Allen, C., Giraudo, M., Moratto, C., & Yamaguchi, N. (2017). Chapter 4. Spaceflight environment. In T. Sgobba, B. Kanki, J.-F. Clervoy, & G. Mjeldheim Sandal (Eds.), *Space Safety and Human Performance* (pp. 87–138). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101869-9.00004-2>
- Ambulatory Monitoring Inc. (n.d.). *Ambulatory Monitoring Inc Product Catalog*. MicroMini-Motionlogger® Actigraph. Retrieved April 10, 2022, from <http://www.ambulatory-monitoring.com/pdf/29ede7a4.pdf>
- Amelia, A., & Silva, B. (1997). Capítulo 11. Aspectos Metodológicos de la Cronobiología. In N. Marques, L. Menna-Barreto, & D. Golombek (Eds.), *Cronobiología. Principios y Aplicaciones* (1st ed., pp. 239–261). Eudeba.
- American Academy of Sleep Medicine. (2014). *3rd International classification of sleep disorders* (3rd ed.). https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6578-6_27
- American Heart Association. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*, 93(5), 1043–1065.
- Ancoli-israel, S., Cole, R., Alessi, C., Chambers, M., Moorcroft, W., & Pollak, C. P. (2003). *The Role of Actigraphy in the Study of Sleep and Circadian Rhythms*. April 2002.
- Angerer, O. (2012). *Announcement of Opportunity for Medical , Physiological and Psychological Research Using Concordia Antarctic Station as Human Exploration Analogue*.
- Arendt, J. (2012). Biological rhythms during residence in polar regions. *Chronobiology International*, 29(4), 379–394. <https://doi.org/10.3109/07420528.2012.668997>
- Argente, H., & Álvarez, M. (2013). Capítulo 29-3. Tensión Arterial. In *Semiología Médica* (2nd ed., p. 1632). Editorial

- Arnedt, J. T., Owens, J., Crouch, M., Stahl, J., & Carskadon, M. (2006). Neurobehavioral performance of residents after heavy night call vs after alcohol ingestion. *Obstetrical and Gynecological Survey*, 61(1), 17–19. <https://doi.org/10.1097/01.ogx.0000193855.81706.10>
- Aschoff, J., Gerecke, U., & Wever, R. (1967). Desynchronization of human circadian rhythms. *The Japanese Journal of Physiology*, 17, 450–457. <https://doi.org/10.2170/jjphysiol.17.450>
- Auger, R., Burgess, H., Emens, J., Deriy, L., Thomas, S., & Sharkey, K. (2015). Clinical practice guideline for the treatment of intrinsic circadian rhythm sleep-wake disorders: Advanced Sleep-Wake Phase Disorder (ASWPD), Delayed Sleep-Wake Phase Disorder (DSWPD), Non-24-Hour Sleep-Wake Rhythm Disorder (N24SWD), and Irregular Sleep-W. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 11(10), 1199–1236. <https://doi.org/10.5664/jcsm.5100>
- Ayas, N., Barger, L., Cade, B., Hashimoto, D., Rosner, B., Cronin, J., Speizer, F., & Czeisler, C. (2006). Extended work duration and the risk of self-reported percutaneous injuries in interns. *Journal of the American Medical Association*, 296(9), 1055–1062. <https://doi.org/10.1001/jama.296.9.1055>
- Badia, P., Myers, B., Boecker, M., Culpepper, J., & Harsh, J. (1991). Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and behavior. *Physiology and Behavior*, 50(3), 583–588. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(91\)90549-4](https://doi.org/10.1016/0031-9384(91)90549-4)
- Baevsky, R., Baranov, V., Funtova, I., Diedrich, A., Pashenko, A., Chernikova, A., Drescher, J., Jordan, J., & Tank, J. (2007). Autonomic cardiovascular and respiratory control during prolonged spaceflights aboard the International Space Station. *Journal of Applied Physiology*, 103(1), 156–161. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00137.2007>
- Barbarito, M., Baldanza, S., & Peri, A. (2001). Evolution of the coping strategies in an isolated group in an Antarctic base. *Polar Record*, 37(201), 111–120. <https://doi.org/10.1017/S0032247400026930>
- Barbarito, M. G. (2011). *Grupos Humanos en Situaciones “I.C.E.”: Afrontamiento y Adaptación Socio-Emocional en Campañas Antárticas Argentinas* (Editorial Académica Española (ed.); 1st ed.).
- Barger, L., Ayas, N., Cade, B., Cronin, J., Rosner, B., Speizer, F., & Czeisler, C. (2006). Impact of extended-duration shifts on medical errors, adverse events, and attentional failures. *PLoS Medicine*, 3(12), 2440–2448. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0030487>
- Barger, L., Flynn-Evans, E., Kubey, A., Walsh, L., Ronda, J., Wang, W., Wright, K., & Czeisler, C. (2014). Prevalence of Sleep Deficiency and Hypnotic Use Among Astronauts Before, During and After Spaceflight: An Observational Study. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 13(9), 904–912. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70122-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70122-X).Prevalence
- Basner, M., Dinges, D. F., Mollicone, D., Ecker, A., Jones, C. W., Hyder, E. C., Antonio, A. Di, Savelev, I., Kan, K., Goel, N., Morukov, B. V., & Sutton, J. (2013). Mars 520-d mission simulation reveals protracted crew hypokinesia and alterations of sleep duration and timing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(7), 2676–2676. <https://doi.org/10.1073/pnas.1301039110>
- Bass, D., Wales, R., & Shalin, V. (2005). Choosing Mars Time: Analysis of the Mars exploration rover experience. *IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2005*(January), 4174–4185. <https://doi.org/10.1109/AERO.2005.1559722>
- Beard, B. (2018). Chapter 5. Physiological performance and capabilities. In T. Sgobba, B. Kanki, J.-F. Clervoy, & G.

Mjeldheim Sandal (Eds.), *Space Safety and Human Performance* (pp. 139–181). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101869-9.00005-4>

- Belenky, G., Wesensten, N., Thorne, D., Thomas, M., Sing, H., Redmond, D., Russo, M., & Balkin, T. (2003). Patterns of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery: A sleep dose-response study. *Journal of Sleep Research*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2003.00337.x>
- Belkin, V., & Karasik, D. (2001). The Effect of Season, Occupation and Repeated Winterings on Anthropologic and Physiological Characteristics in Russian Antarctic Staff. *Int J Circumpolar Health*, 1(1), 41–51.
- Bellone, G. J., Plano, S. A., Cardinali, D. P., Chada, D. P., Vigo, D. E., & Golombek, D. A. (2016). Comparative analysis of actigraphy performance in healthy young subjects. *Sleep Science*, 9(4), 272–279.
<https://doi.org/10.1016/j.slsci.2016.05.004>
- Berger, A. M., Wielgus, K. K., Young-McCaughan, S., Fischer, P., Farr, L., & Lee, K. A. (2008). Methodological Challenges When Using Actigraphy in Research. *Journal of Pain and Symptom Management*, 36(2), 191–199.
<https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2007.10.008>
- Berry, R. (2012). Chapter 25: Insomnia. In R. Berry (Ed.), *Fundamentals of Sleep Medicine* (1st ed., pp. 481–512). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2005.05.001>
- Bittencourt, L., Santos-Silva, R., De Mello, M., Andersen, M., & Tufik, S. (2010). Chronobiological disorders: Current and prevalent conditions. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 20(1), 21–32. <https://doi.org/10.1007/s10926-009-9213-0>
- Blanco, M., Kriguer, N., Pérez Lloret, S., & Cardinali, D. (2003). Attitudes towards treatment among patients suffering from sleep disorders. A Latin American survey. *BMC Family Practice*, 4, 1–10. <https://doi.org/10.1186/1471-2296-4-17>
- Blatter, K., & Cajochen, C. (2007). Circadian rhythms in cognitive performance: Methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings. *Physiology and Behavior*, 90(2–3), 196–208.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.09.009>
- Bonnet, M., & Arand, D. (1995). We are chronically sleep deprived. *Sleep*, 18(10), 908–911.
<https://doi.org/10.1093/sleep/18.10.908>
- Bonnet, M., Balkin, T., Dinges, D., Roehrs, T., Rogers, N., & Wesensten, N. (2005). The use of stimulants to modify performance during sleep loss: A review by the Sleep Deprivation and Stimulant Task Force of the American Academy of Sleep Medicine. *Sleep*, 28(9), 1163–1187. <https://doi.org/10.1093/sleep/28.9.1163>
- Borbély, A., & Achermann, P. (1999). Sleep Homeostasis and Models of Sleep Regulation. *Journal of Biological Rhythms*, 14(6), 559–570. <https://doi.org/10.1177/074873099129000894>
- Borisenkov, M. (2011). The pattern of entrainment of the human sleep-wake rhythm by the natural photoperiod in the north. *Chronobiology International*, 28(10), 921–929. <https://doi.org/10.3109/07420528.2011.623978>
- Brainard, G., Coyle, W., Ayers, M., Kemp, J., Warfield, B., Maida, J., Bowen, C., Bernecker, C., Lockley, S., & Hanifin, J. (2013). Solid-state lighting for the International Space Station: Tests of visual performance and melatonin regulation. *Acta Astronautica*, 92(1), 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.04.019>
- Brown, D., Feskanich, D., Sánchez, B., Rexrode, K., Schernhammer, E., & Lisabeth, L. (2009). Rotating night shift work

and the risk of ischemic stroke. *American Journal of Epidemiology*, 169(11), 1370–1377.
<https://doi.org/10.1093/aje/kwp056>

- Brunner, D., Dijk, D. J., Tobler, I., & Borbély, A. (1990). Effect of partial sleep deprivation on sleep stages and EEG power spectra: evidence for non-REM and REM sleep homeostasis. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75(6), 492–499. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(90\)90136-8](https://doi.org/10.1016/0013-4694(90)90136-8)
- Buxton, O., Pavlova, M., Reid, E., Wang, W., Simonson, D., & Adler, G. (2010). Sleep restriction for 1 week reduces insulin sensitivity in healthy men. *Diabetes*, 59(9), 2126–2133. <https://doi.org/10.2337/db09-0699>
- Buysse, D., Reynolds, C., Monk, T., Berman, S., & Kupfer, D. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index : A New Instrument for Psychiatric Practice and Research. *Psychiatry Research*, 28, 193–213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)
- Cajochen, C., Münch, M., Kriebitzsch, S., Kräuchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., Orgül, S., & Wirz-Justice, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 90(3), 1311–1316. <https://doi.org/10.1210/jc.2004-0957>
- Cajochen, C., Zeitzer, J., Czeisler, C., & Dijk, D.-J. (2000). Dose-response relationship for light intensity and alertness and its ocular and EEG correlates. *Behavioural Brain Research*, 115(1), 75–83.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10996410>
- Caldwell, J., Smith, J., Caldwell, L., Brown, D., Mu, Q., Mishory, A., Peters, G., & George, M. (2005). Are individual differences in fatigue vulnerability related to baseline differences in cortical activation? *Behavioral Neuroscience*, 119(3), 694–707. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.119.3.694>
- Cappuccio, F., D'Elia, L., Strazzullo, P., & Miller, M. (2010). Sleep duration and all-cause mortality: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Sleep*, 33(5), 585–592. <https://doi.org/10.1093/sleep/33.5.585>
- Cardinal, D. (2002). Cronobióticos: Como mover los engranajes del reloj biológico humano. *Scientific American Latinoamérica*, Jun(2), 42–49.
- Cardinali, D. (1994a). Capítulo 10: El sistema circadiano humano. El trabajo en Turnos. In D. Cardinali, J. Jordá Catalá, & E. Sánchez Barceló (Eds.), *Introducción a la Cronobiología: Fisiología de los Ritmos Biológicos* (1st ed., Issue 3, pp. 141–150).
- Cardinali, D. (1994b). Capítulo 8: El Reloj Circadiano Humano. Aspectos Generales y Patología. In D. Cardinali, J. Jordá Catalá, & E. Sánchez Barceló (Eds.), *Introducción a la Cronobiología: Fisiología de los Ritmos Biológicos* (1st ed., pp. 111–126). Editorial Universidad de Cantabria.
- Cardinali, D. (2013a). Capítulo 13: Sistema Nervioso Autónomo. In D. Cardinali (Ed.), *Manual de Neurofisiología* (p. 360). Díaz de Santos.
- Cardinali, D. (2013b). Capítulo 14: Fisiología del hipotálamo y del sistema límbico. In D. Cardinali (Ed.), *Manual de Neurofisiología* (p. 360). Díaz de Santos.
- Cardinali, D. (2013c). Capítulo 15: Correlatos Electrofisiológicos de la Actividad Cortical, Fisiología del Sueño. In D. Cardinali (Ed.), *Manual de Neurofisiología* (p. 360). Díaz de Santos.
- Cardinali, D., Bortman, G., Liotta, G., Perez Lloret, S., Albornoz, L., Cutrera, R., Batista, J., & Ortega Gallo, P. (2002). A

multifactorial approach employing melatonin to accelerate resynchronization of sleep-wake cycle after a 12 time-zone westerly transmeridian flight in elite soccer athletes. *Journal of Pineal Research*, 32(1), 41–46.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-079x.2002.10820.x>

Cardinali, D., Furio, A., Reyes, M., & Brusco, L. (2006). The use of chronobiotics in the resynchronization of the sleep-wake cycle. *Cancer Causes and Control*, 17(4), 601–609. <https://doi.org/10.1007/s10552-005-9009-2>

Cardinali, D., & Golombek, D. (1994a). Capítulo 1: Naturaleza y Propiedades de los Ritmos Biológicos. Análisis de los Ritmos Circadianos. In D. Cardinali, J. Jordá Catalá, & E. Sánchez Barceló (Eds.), *Introducción a la Cronobiología. Fisiología de los ritmos biológicos* (1st ed., pp. 15–24). Editorial Universidad de Cantabria.

Cardinali, D., & Golombek, D. (1994b). Capítulo 2: Mecanismos Moleculares, Celulares y Fisiológicos de la Ritmicidad Circadiana. In D. Cardinali, J. Jordá Catalá, & E. Sánchez Barceló (Eds.), *Introducción a la Cronobiología: Fisiología de los Ritmos Biológicos* (1st ed., pp. 27–40). Editorial Universidad de Cantabria.

Cardinali, D., & Sánchez Barceló, E. (1994). Capítulo 3: Homeostasis reactiva y predictiva. La Glandula Pineal. In D. Cardinali, J. Jordá Catalá, & E. Sánchez Barceló (Eds.), *Introducción a la Cronobiología: Fisiología de los Ritmos Biológicos* (1st ed., pp. 41–50).

Carskadon, M, Acebo, C., & Seifer, R. (2001). Extended nights, sleep loss, and recovery sleep in adolescents. In *Archives Italiennes de Biologie* (Vol. 139, Issue 3, pp. 301–312). <https://doi.org/10.4449/aib.v139i3.505>

Carskadon, Mary, Labyak, S., Acebo, C., & Seifer, R. (1999). Intrinsic circadian period of adolescent humans measured in conditions of forced desynchrony. *Neuroscience Letters*, 260(2), 129–132. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(98\)00971-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(98)00971-9)

Charles, J., & Lathers, C. (1991). Cardiovascular adaptation to spaceflight. *J Clin Pharmacol*, 31, 1010–1023.
<https://doi.org/10.1016/j.wem.2016.07.004>

Chen, N., Wu, Q., Xiong, Y., Chen, G., Song, D., & Xu, C. (2016). Circadian Rhythm and Sleep During Prolonged Antarctic Residence at Chinese Zhongshan Station. *Wilderness and Environmental Medicine*, 27(4), 458–467.
<https://doi.org/10.1016/j.wem.2016.07.004>

Chokroverty, S. (2011a). Capítulo 2: Características generales del sueño normal. In S. Chokroverty (Ed.), *Medicina de los trastornos del sueño* (3rd ed., pp. 5–21).

Chokroverty, S. (2011b). Capítulo 3: Privación de sueño y somnolencia. In S. Chokroverty (Ed.), *Medicina de los Trastornos del Sueño* (3rd ed., pp. 22–28). <https://doi.org/10.1016/b978-84-8086-733-7.00003-6>

Collet, G., Mairesse, O., Cortoos, A., Tellez, H. F., Neyt, X., Peigneux, P., Macdonald-nethercott, E., Ducrot, Y., & Pattyn, N. (2016). *Altitude and Seasonality Impact on Sleep in Antarctica. September 2014*.
<https://doi.org/10.3357/AMHP.4159.2015>

Colten, H., & Altevogt, B. (2006). Sleep disorders and sleep deprivation: An unmet public health problem. In *Sleep Disorders and Sleep Deprivation: An Unmet Public Health Problem*. <https://doi.org/10.17226/11617>

COMNAP. Council of Managers of National Antarctic Programs. (2017). *Antarctic Station Catalogue* (Issue August).

Consejo Argentino de Hipertensión Arterial. (2013). Consenso de Hipertensión Arterial. *Revista Argentina De Cardiología*, 81(1115), 1–80.

- Cooke, W., Ames IV, J., Crossman, A., Cox, J., Kuusela, T., Tahvanainen, K., Moon, L. B., Drescher, J., Baisch, F., Mano, T., Levine, B., Blomqvist, G., & Eckberg, D. (2000). Nine months in space: Effects on human autonomic cardiovascular regulation. *Journal of Applied Physiology*, 89(3), 1039–1045.
<https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.3.1039>
- Corbett, R. W., Middleton, B., & Arendt, J. (2012). An hour of bright white light in the early morning improves performance and advances sleep and circadian phase during the Antarctic winter. *Neuroscience Letters*, 525(2), 146–151.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.06.046>
- Cordero, J., Pereda, M., & Ordax, E. (2015). Capítulo 29: Epidemiología de los trastornos del sueño. In Sociedad Española de Sueño (Ed.), *Tratado de Medicina del Sueño* (1st ed., pp. 299–302). Editorial Medica Panamericana.
- Cuesta, M., Boudreau, P., Cermakian, N., & Boivin, D. (2017). Skin Temperature Rhythms in Humans Respond to Changes in the Timing of Sleep and Light. *Journal of Biological Rhythms*, 32(3), 257–273.
<https://doi.org/10.1177/0748730417702974>
- Cugini, P., Camillieri, G., Alessio, L., Cristina, G., Petrangeli, C., & Capodaglio, P. (1997). Ambulatory Blood Pressure Monitoring in Clinically Healthy Subjects Adapted to Living in Antarctica. *Aviat Space Environ Med*, 11(97), 1273–1276.
- Czeisler, C. (2006). Sleep deficit. The performance killer. *Harvard Bus Rev*, 84, 53–59.
- Czeisler, C. (2011). Impact of sleepiness and sleep deficiency on public health - Utility of biomarkers. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 7(5), 5–7. <https://doi.org/10.5664/JCSM.1340>
- Czeisler, C., Allan, J., Strogatz, S., Ronda, J., Sánchez, R., Ríos, D., Freitag, W., Richardson, G., & Kronauer, R. (1986). Bright light resets the human circadian pacemaker independent of the timing of the sleep-wake cycle. *Science*, 233(4764), 667–671. <https://doi.org/10.1126/science.3726555>
- Dawson, D., & Reid, K. (1997). Fatigue, alcohol and performance impairment. *Nature*, 388(6639), 235.
<https://doi.org/10.1038/40775>
- Department of The Army. (2020). Chapter 11: Sleep Readiness. In Walter Reed Army Institute of Research (Ed.), *FM 7-22. Holistic Health And Fitness* (Issue October, p. 244).
- Deroshia, C., Colletti, L., & Mallis, M. (2008). The Effects of the Mars Exploration Rovers (MER) Work Schedule Regime on Locomotor Activity Circadian Rhythms , Sleep and Fatigue. In *National Aeronautics and Space Administration* (Issue December). <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20100031099> 2019-08-30T11:11:14+00:00Z
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 114–126.
<https://doi.org/10.1038/nrn2762>
- Diez, J., Vigo, D., Perez Lloret, S., Rigtters, S., Role, N., Cardinali, D., & Perez Chada, D. (2011). Sleep Habits, Alertness, Cortisol Levels, and Cardiac Autonomic Activity in Short-Distance Bus Drivers: Differences Between Morning and Afternoon Shifts. *J Occup Environ Med*, 53(7), 806–811. <https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e318221c6de>
- Dijk, D. J., & Lockley, S. (2002). Integration of human sleep-wake regulation and circadian rhythmicity. *J Appl Physiol* (1985), 92(2), 852–862. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00924.2001>
- Dijk, D. J., Neri, D., Wyatt, J., Ronda, J., Riel, E., Ritz-de Cecco, A., Hughes, R., Elliott, A., Prisk, K., West, J., & Czeisler,

- C. (2001). Sleep, performance, circadian rhythms, and light-dark cycles during two space shuttle flights. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 281(5 50-5), 1647–1664. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.2001.281.5.r1647>
- Dinges, D., Pack, F., Williams, K., Gillen, K., Powell, J., Ott, G., Aptowicz, C., & Pack, A. (1997). Cumulative Sleepiness, Mood Disturbance, and Psychomotor Vigilance Performance Decrements During a Week of Sleep Restricted to 4–5 Hours per Night. *Sleep*, 20(4), 267–277. <https://doi.org/10.1093/sleep/20.4.267>
- Dollins, A., Zhdanova, I., Wurtman, R., Lynch, H., & Deng, M. (1994). Effect of inducing nocturnal serum melatonin concentrations in daytime on sleep, mood, body temperature, and performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(5), 1824–1828. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.5.1824>
- Duffy, J., Willson, H., Wang, W., & Czeisler, C. (2009). Healthy Older Adults Better Tolerate Sleep Deprivation Than Young Adults. *J Am Geriatr Soc*, 57(7), 1245–1251. <https://doi.org/10.1038/jid.2014.371>
- Ejército Argentino. (2001). *Reconocimientos Médicos RFP- 23-02* (Departamento de Doctrina del Ejercito Argentino (ed.)).
- Ejército Argentino. (2018). *Funcionamiento de Bases Antárticas MFP-63-01* (Departamento de Doctrina del Ejercito Argentino (ed.)).
- Everson, C., Bergmann, B., & Rechtschaffen, A. (1989). Sleep deprivation in the rat: III. Total sleep deprivation. *Sleep*, 12(1), 13–21. <https://doi.org/10.1093/sleep/12.1.13>
- Fallone, G., Acebo, C., Arnedt, T., Seifer, R., & Carskadon, M. (2001). Effects of acute sleep restriction on behavior, sustained attention, and response inhibition in children. *Perceptual and Motor Skills*, 93(1), 213–229. <https://doi.org/10.2466/pms.2001.93.1.213>
- Faraut, B., Andrillon, T., Vecchierini, M. F., & Leger, D. (2017). Napping: A public health issue. From epidemiological to laboratory studies. *Sleep Medicine Reviews*, 35, 85–100. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2016.09.002>
- Farmilo, K. (2014). Power napping for nurses. *American Journal of Nursing*, 114(5), 11. <https://doi.org/10.1097/01.NAJ.0000446754.24180.03>
- Farrace, S., Cenni, P., Tuozzi, G., Casagrande, M., Barbarito, B., & Peri, A. (1999). Endocrine and psychophysiological aspects of human adaptation to the extreme. *Physiology and Behavior*, 66(4), 613–620. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(98\)00341-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(98)00341-2)
- Farrace, S., Ferrara, M., De Angelis, C., Trezza, R., Cenni, P., Peri, A., Casagrande, M., & De Gennaro, L. (2003). Reduced sympathetic outflow and adrenal secretory activity during a 40-day stay in the Antarctic. *International Journal of Psychophysiology*, 49(1), 17–27. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(03\)00074-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(03)00074-6)
- Figueiro, M., Sahin, L., Roohan, C., Kalsher, M., Plitnick, B., & Rea, M. (2019). Effects of red light on sleep inertia. *Nature and Science of Sleep*, 11, 45–57. <https://doi.org/10.2147/NSS.S195563>
- Fong, K. (2004). The next small step The limits of medicine The next small step. *BMJ*, December, 1441–1444. <https://doi.org/10.1136/bmj.329.7480.1441>
- Forberg, K., Waage, S., Moen, B., & Bjorvatn, B. (2010). Subjective and objective sleep and sleepiness among tunnel workers in an extreme and isolated environment: 10-h shifts, 21-day working period, at 78 degrees north. *Sleep Medicine*, 11(2), 185–190. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2009.07.015>

- Foret, J., Daurat, A., & Tirilly, G. (1998). Effect of bright light at night on core temperature, subjective alertness and performance as a function of exposure time. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 24(Suppl. 3), 115–120.
- Fossum, I., Bjorvatn, B., Waage, S., & Pallesen, S. (2013). Effects of shift and night work in the offshore petroleum industry: A systematic review. *Industrial Health*, 51(5), 530–544. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2013-0054>
- Foster, Russell, & Kreitzman, L. (1999a). Chapter 11. Sleep and Performance. In Russell Foster & L. Kreitzman (Eds.), *The Rhythms of Life. The Biological Clocks that Control the Daily Lives of Every Living Thing* (pp. 178–200).
- Foster, Russell, & Kreitzman, L. (1999b). Chapter 3. Oscillators, Clocks and Hourglasses. In Russell Foster & L. Kreitzman (Eds.), *The Rhythms of Life. The Biological Clocks that Control the Daily Lives of Every Living Thing* (pp. 40–54). Profile Books.
- Foster, Russell, & Kreitzman, L. (1999c). Chapter 4. The Challenge Of Daily Change. In Russell Foster & L. Kreitzman (Eds.), *The Rhythms of Life. The Biological Clocks that Control the Daily Lives of Every Living Thing* (London, pp. 55–65). Profile Books.
- Foster, Russell, & Kreitzman, L. (1999d). Chapter 5. The search for the Clock. In Russell Foster & L. Kreitzman (Eds.), *The Rhythms of Life. The Biological Clocks that Control the Daily Lives of Every Living Thing* (1st ed., pp. 66–86). Profile Books.
- Foster, Russell, & Kreitzman, L. (1999e). Chapter 6. Light on the Clock. In Russell Foster & L. Kreitzman (Eds.), *The Rhythms of Life. The Biological Clocks that Control the Daily Lives of Every Living Thing* (pp. 87–100). Profile Books.
- Foster, Russell, & Kreitzman, L. (2005). Chapter 12. SAD shifts. In Russell Foster & L. Kreitzman (Eds.), *The Rhythms of Life. The Biological Clocks that Control the Daily Lives of Every Living Thing* (pp. 201–210). Profile Books.
- Foster, Russell, & Wulff, K. (2005). The rhythm of rest and excess. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(5), 407–414. <https://doi.org/10.1038/nrn1670>
- Francis, G., Bishop, L., Luke, C., Middleton, B., Williams, P., & Arendt, J. (2008). Sleep during the Antarctic winter: Preliminary observations on changing the spectral composition of artificial light. *Journal of Sleep Research*, 17(3), 354–360. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2008.00664.x>
- Fraser, K., Greaves, D., Shoemaker, K., Blaber, A., & Hughson, R. (2012). Heart rate and daily physical activity with long-duration habitation of the international space station. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 83(6), 577–584. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3206.2012>
- Fritsch-Yelle, J., Charles, J., Jones, M., & Wood, M. (1996). Microgravity decreases heart rate and arterial pressure in humans. *Journal of Applied Physiology*, 80(3), 910–914. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.3.910>
- Fuller, P., & Lu, J. (2009). Chapter 5: Neurobiology of Sleep. In C. Amlaner & P. Fuller (Eds.), *Basics of Sleep Guide* (pp. 53–62).
- Gander, P., Macdonald, J., Montgomery, J., & Paulin, M. (1991). Adaptation of sleep and circadian rhythms to the Antarctic summer: A question of zeitgeber strength. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 62(11), 1019–1025.

- Gaoua, N. (2010). Cognitive function in hot environments: a question of methodology. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(Suppl. 3), 60–70. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01210.x>
- Garbino, A., & Jennings, R. (2018). Chapter 17. Medical and psychological mission support. In T. Sgobba, B. Kanki, J.-F. Clervoy, & G. Mjeldheim Sandal (Eds.), *Space Safety and Human Performance* (pp. 795–807). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101869-9.00017-0>
- Gerzer, R. (2012). Linking Earth and Space medicine: unique opportunities during simulations of interplanetary missions. In *Book of abstracts of the Mars500: International Symposium on the Results of the Experiments, Simulating Manned Mission to Mars (Mars-500)* (pp. 88–89).
- Giesbrecht, G., Arnett, J., Vela, E., & Bristow, G. (1993). Effect of task complexity on mental performance during immersion hypothermia. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 64(3), 206–211.
- Goldberger, A., Bungo, M., Baevsky, R., Bennett, B., Rigney, D., Mietus, J., Nikulina, G., & Charles, J. (1994). Heart rate dynamics during long-term space flight: Report on Mir cosmonauts. *American Heart Journal*, 128(1), 202–204. [https://doi.org/10.1016/0002-8703\(94\)90033-7](https://doi.org/10.1016/0002-8703(94)90033-7)
- Golombek, D. (2007). Introducción: La Máquina del Tiempo. In *Cronobiología Humana: Ritmos y Relojes Biológicos en la Salud y en la Enfermedad* (2da ed., pp. 21–31). Colecciones Biomedicina.
- Golombek, D., & Rosenstein, R. (2010). Physiology of circadian entrainment. *Physiological Reviews*, 90(3), 1063–1102. <https://doi.org/10.1152/physrev.00009.2009>
- Goodman, J. (2000). International space station acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 108(5), 2475–2475. <https://doi.org/10.1121/1.4743126>
- Gore, B. (2018). Chapter 3. Workload and fatigue. In T. Sgobba, B. Kanki, J.-F. Clervoy, & G. Mjeldheim Sandal (Eds.), *Space Safety and Human Performance* (pp. 53–85). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101869-9.00003-0>
- Griffiths, P., Folkard, S., Bojkowski, C., English, J., & Arendt, J. (1986). Persistent 24-h variations of urinary 6-hydroxy melatonin sulphate and cortisol in Antarctica. *Experientia*, 42, 430–432. <https://doi.org/10.1007/BF02118643>
- Gronfier, C., Wright, K., Kronauer, R., & Czeisler, C. (2007). Entrainment of the human circadian pacemaker to longer-than-24-h days. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(21), 9081–9086. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702835104>
- Grote, V., Kelz, C., Goswami, N., Stossier, H., Tafeit, E., & Moser, M. (2013). Cardio-autonomic control and wellbeing due to oscillating color light exposure. *Physiology & Behavior*, 114–115, 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2013.03.007>
- Gundel, A., Drescher, J., Spatenko, Y., & Polyakov, V. (1999). Heart period and heart period variability during sleep on the MIR space station. *Journal of Sleep Research*, 8(1), 37–43. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.1999.00131.x>
- Gundel, A., Polyakov, V., & Zulley, J. (1997). The alteration of human sleep and circadian rhythms during spaceflight. *Journal of Sleep Research*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.1997.00028.x>
- Guyton, A., & Hall, J. E. (2011). Chapter 60: The Autonomic Nervous System and the Adrenal Medulla. In J. E. Hall (Ed.), *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (12th ed., pp. 729–741).

- Harding, E., Franks, N., & Wisden, W. (2019). The temperature dependence of sleep. *Frontiers in Neuroscience*, 13(APR), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00336>
- Harinath, K., Malhotra, A. S., Pal, K., Prasad, R., Kumar, R., & Sawhney, R. (2005). Autonomic nervous system and adrenal response to cold in man at Antarctica. *Wilderness & Environmental Medicine*, 16(2), 81–91. <https://doi.org/10.1580/PR30-04.1>
- Härmä, M., Tenkanen, L., Sjöblom, T., Alikoski, T., & Heinsalmi, P. (1998). Combined effects of shift work and life-style on the prevalence of insomnia, sleep deprivation and daytime sleepiness. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 24(4), 300–307. <https://doi.org/10.5271/sjweh.324>
- Hayashi, M., Masuda, A., & Hori, T. (2003). The alerting effects of caffeine, bright light and face washing after a short daytime nap. *Clinical Neurophysiology*, 114(12), 2268–2278. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(03\)00255-4](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(03)00255-4)
- Hilditch, C., Dorrian, J., & Banks, S. (2016). Time to wake up: Reactive countermeasures to sleep inertia. *Industrial Health*, 54(6), 528–541. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2015-0236>
- Hilditch, C., Dorrian, J., & Banks, S. (2017). A review of short naps and sleep inertia: do naps of 30 min or less really avoid sleep inertia and slow-wave sleep? *Sleep Medicine*, 32, 176–190. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.12.016>
- Hillman, D., Murphy, A. S., Antic, R., & Pezzullo, L. (2006). The economic cost of sleep disorders. *Sleep*, 29(3), 299–305. <https://doi.org/10.1093/sleep/29.3.299>
- Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., Hazen, N., Herman, J., Katz, E., Kheirandish-Gozal, L., Neubauer, D., O'Donnell, A., Ohayon, M., Peever, J., Rawding, R., Sachdeva, R., Setters, B., Vitiello, M., Ware, C., & Adams Hillard, P. (2015). National sleep foundation's sleep time duration recommendations: Methodology and results summary. *Sleep Health*, 1(1), 40–43. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2014.12.010>
- Hoffler, W., Johnson, R., Nicogossian, A., Bergman, S., & Jackson, M. (1977). Chapter 30. Vectorcardiographic results from Skylab medical experiment MO92: lower body negative pressure. In R. Johnston & L. Dietlein (Eds.), *Biomedical Results From Skylab*. NASA (National Aeronautics and Space Administration).
- Holland, R., Sayers, J., Keatinge, W., Davis, H., & Peswani, R. (1985). Effects of raised body temperature on reasoning, memory, and mood. *Journal of Applied Physiology*, 59(6), 1823–1827. <https://doi.org/10.1152/jappl.1985.59.6.1823>
- Hu, K., Van Someren, E., Shea, S., & Scheer, F. (2009). Reduction of scale invariance of activity fluctuations with aging and Alzheimer's disease: Involvement of the circadian pacemaker. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(8), 2490–2494. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806087106>
- Hughson, R., Shoemaker, J., Blaber, A., Arbeille, P., Greaves, D., Pereira-Junior, P., & Xu, D. (2012). Cardiovascular regulation during long-duration spaceflights to the International Space Station. *Journal of Applied Physiology*, 112(5), 719–727. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01196.2011>
- Huiberts, L., Smolders, K., & De Kort, Y. (2017). Seasonal and time-of-day variations in acute non-image forming effects of illuminance level on performance, physiology, and subjective well-being. *Chronobiology International*, 34(7), 827–844. <https://doi.org/10.1080/07420528.2017.1324471>
- Jankowski, K. (2017). Social jet lag: Sleep-corrected formula. *Chronobiology International*, 34(4), 531–535. <https://doi.org/10.1080/07420528.2017.1299162>

- Jurado Luque, M. J., Merino Andréu, M., Álvarez Ruiz de Larrinaga, A., Madrid Pérez, J. A., Martínez Martínez, M. Á., Puertas Cuesta, F. J., Asencio Guerra, A. J., Romero Santo-Tomás, O., Jurado Luque, M. J., Segarra Isern, F. J., Canet Sanz, T., Giménez Rodríguez, P., Terán Santos, J., Alonso Álvarez, M. L., García-Borreguero Díaz-Varela, D., & Barriuso Esteban, B. (2016). Sueño saludable: Evidencias y guías de actuación. Documento oficial de la Sociedad Española de Sueño. *Revista de Neurología*, 63, S1–S27. <https://doi.org/10.33588/rn.63s02.2016397>
- Kanas, N., & Manzey, D. (2016). Chapter 3. Human Performance. In *Space psychology and psychiatry* (Vol. 53, pp. 1689–1699). Springer Science. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kanki, B. (2018). Chapter 2. Cognitive functions and human error. In T. Sgobba, B. Kanki, J.-F. Clervoy, & G. Mjeldheim Sandal (Eds.), *Space Safety and Human Performance* (pp. 17–52). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101869-9.00002-9>
- Kanki, B., & Hobbs, A. (2018). Chapter 14. Organizational factors and safety culture. In T. Sgobba, B. Kanki, J.-F. Clervoy, & G. Mjeldheim Sandal (Eds.), *Space Safety and Human Performance* (pp. 621–651). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101869-9.00014-5>
- Kawasaki, A., Wisniewski, S., Healey, B., Pattyn, N., Kunz, D., Basner, M., & Münch, M. (2018). Impact of long-term daylight deprivation on retinal light sensitivity, circadian rhythms and sleep during the Antarctic winter. *Scientific Reports*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33450-7>
- Kennaway, D. J., & Van Dorp, C. F. (1991). Free-running rhythms of melatonin, cortisol, electrolytes, and sleep in humans in Antarctica. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 260(6 29-6). <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1991.260.6.r1137>
- Kennicutt II, M., Chown, S., Cassano, J., Liggett, D., Massom, R., Peck, L., Rintoul, S., Storey, J., Vaughan, D., Wilson, T., & Sutherland, W. (2014a). Six priorities for Antarctic science. *Nature*, 512(7512), 23–25. <https://doi.org/10.1038/512023a>
- Kennicutt II, M., Chown, S., Cassano, J., Liggett, D., Massom, R., Peck, L., Rintoul, S., Storey, J., Vaughan, D., Wilson, T., & Sutherland, W. (2014b). Supplementary information to: Six priorities for Antarctic science (Comment in Nature 512, 23–25; 2014). *Nature*, 512(2014), 1–5.
- Khalsa, S. B., Jewett, M., Cajochen, C., & Czeisler, C. (2003). A phase response curve to single bright light pulses in human subjects. *Journal of Physiology*, 549(3), 945–952. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.040477>
- Killgore, W. (2010). Effects of sleep deprivation on cognition. In *Progress in Brain Research* (Vol. 185, Issue C, pp. 105–129). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53702-7.00007-5>
- Knutson, K. L., Rathouz, P. J., Yan, L. L., Liu, K., & Lauderdale, D. S. (2006). Stability of the Pittsburgh Sleep Quality Index and the Epworth Sleepiness Questionnaires over 1 year in early middle-aged adults: the CARDIA study. *Sleep*, 29(11), 1503–1506. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17162998>
- Koslowsky, M., & Babkoff, H. (1992). Meta-analysis of the relationship between total sleep deprivation and performance. *Chronobiology International*, 9(2), 132–136. <https://doi.org/10.3109/07420529209064524>
- Kräuchi, K., Cajochen, C., & Wirz-Justice, A. (1997). A relationship between heat loss and sleepiness: Effects of postural change and melatonin administration. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 134–139. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.1.134>

- Kräuchi, K., Cajochen, C., & Wirz-Justice, A. (2004). Waking up properly: Is there a role of thermoregulation in sleep inertia? *Journal of Sleep Research*, 13(2), 121–127. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2004.00398.x>
- Kräuchi, K., Gompfer, B., Hauenstein, D., Flammer, J., Pflüger, M., Studerus, E., Schötzau, A., & Orgül, S. (2012). Diurnal blood pressure variations are associated with changes in distalproximal skin temperature gradient. *Chronobiology International*, 29(9), 1273–1283. <https://doi.org/10.3109/07420528.2012.719961>
- Kräuchi, K., Konieczka, K., Roescheisen-Weich, C., Gompfer, B., Hauenstein, D., Schoetzau, A., Fraenkl, S., & Flammer, J. (2014). Diurnal and menstrual cycles in body temperature are regulated differently: A 28-day ambulatory study in healthy women with thermal discomfort of cold extremities and controls. *Chronobiology International*, 31(1), 102–113. <https://doi.org/10.3109/07420528.2013.829482>
- Krauchi, K., & Wirz-Justice, A. (1994). Circadian rhythm of heat production, heart rate, and skin and core temperature under unmasking conditions in men. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 267(3 36-3). <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1994.267.3.r819>
- Lanfranchi, P., Caples, S., & Somers, V. (2009). Chapter 13: Sleep and the Autonomic Nervous System. In C. Amlaner & P. Fuller (Eds.), *Basics of Sleep Guide* (2nd ed., pp. 129–137).
- Léger, D., Poursain, B., Neubauer, D., & Uchiyama, M. (2008). An international survey of sleeping problems in the general population. *Current Medical Research and Opinion*, 24(1), 307–317. <https://doi.org/10.1185/030079907X253771>
- León Wöppke, C., & Jara Fernández, M. (2013). *Esbozando la Historia Antártica Latinoamericana. Encuentros de historiadores antárticos latinoamericanos 1999-2001*.
- Lewy, A., Bauer, V., Ahmed, S., Thomas, K., Cutler, N., Singer, C., Moffit, M., & Sack, R. (1998). The human phase response curve (PRC) to melatonin is about 12 hours out of phase with the PRC to light. *Chronobiology International*, 15(1), 71–83. <https://doi.org/10.3109/07420529808998671>
- Littner, M., Kushida, C., Anderson, M. D., Bailey, D., Berry, R., Davila, D., Hirshkowitz, M., Kapen, S., Kramer, M., Loubé, D., Wise, M., & Johnson, S. (2003). Practice parameters for the role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms: An update for 2002. *Sleep*, 26(3), 337–341. <https://doi.org/10.1093/sleep/26.3.337>
- Lockley, S., Brainard, G., & Czeisler, C. (2003). High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 88(9), 4502–4505. <https://doi.org/10.1210/jc.2003-030570>
- Lockley, S., Skene, D., Tabandeh, H., Bird, A., DeFrance, R., & Arendt, J. (1997). Relationship between Napping and Melatonin in the Blind. *Journal of Biological Rhythms*, 12(1), 16–25. <https://doi.org/10.1177/074873049701200104>
- Loh, S., Lamond, N., Dorrian, J., Roach, G., & Dawson, D. (2004). The validity of psychomotor vigilance tasks of less than 10-minute duration. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 36(2), 339–346. <https://doi.org/10.3758/BF03195580>
- Lomeli, H., Perez-Olmos, I., Talero-Gutierrez, C., Moreno, C., Palacios, L., de la Peña, F., & Muñoz-Delgado, J. (2008). Escalas y cuestionarios para evaluar el sueño: una revisión. *Actas Esp Psiquiatr*, 36(1), 50–59.
- Maas, J., & Robbins, R. (2010, September 3). Power Naps Are the Best Remedy. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/roomfordebate/2010/09/02/to-nap-or-not-to-nap/power-naps-are-the-best-remedy>

- Macchi, M., Boulos, Z., Ranney, T., Simmons, L., & Campbell, S. (2002). Effects of an afternoon nap on nighttime alertness and performance in long-haul drivers. *Accid Anal Prev.* 2, 34(6), 825–834. <https://doi.org/10.3141/1686-08>
- Macías Fernandez, J., & Royuela Rico, A. (1996). La versión española del Índice de Calidad de Sueño de Pittsburgh. *Informaciones Psiquiátricas*, 146(March), 465–472.
- Maggioni, M., Merati, G., Castiglioni, P., Mendt, S., Gunga, H. C., & Stahn, A. (2020). Reduced vagal modulations of heart rate during overwintering in Antarctica. *Scientific Reports*, 0123456789, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78722-3>
- Mairesse, O., MacDonald-Nethercott, E., Neu, D., Fernandez Tellez, H., Dessy, E., Neyt, X., Meeusen, R., & Pattyn, N. (2019). Preparing for Mars: human sleep and performance during a 13 month stay in Antarctica. *Sleep*, 42(1), 1–35. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsy206>
- Mallis, M., & DeRoshia, C. (2005). Circadian rhythms, sleep, and performance in space. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 76(Suppl. 6), 94–107.
- Mantua, J., & Spencer, R. (2017). Exploring the nap paradox: are mid-day sleep bouts a friend or foe? *Sleep Medicine*, 37(413), 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2017.01.019>
- Manzey, D., Lorenz, B., & Poljakov, V. (1998). Mental performance in extreme environments: Results from a performance monitoring study during a 438-day spaceflight. *Ergonomics*, 41(4), 537–559. <https://doi.org/10.1080/001401398186991>
- Marques, M. D., Golombek, D., & Moreno, C. (1997). Capítulo 3. Adaptación Temporal. In N. Marques, L. Menna-Barreto, & D. Golombek (Eds.), *Cronobiología. Principios y Aplicaciones* (1st ed., pp. 57–97). Eudeba.
- Martinez-Tellez, B., Sanchez-Delgado, G., Acosta, F., Alcantara, J., Boon, M., Rensen, P., & Ruiz, J. (2017). Differences between the most used equations in BAT-human studies to estimate parameters of skin temperature in young lean men. *Scientific Reports*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10444-5>
- Mehra, R., & Patel, S. (2012). To Nap or Not to Nap: That is the Question. *Sleep*, 35, 1003–1009. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5665/sleep.1946>
- Meltzer, L. J., & Westin, A. M. (2011). A Comparison of Actigraphy Scoring Rules Used in Pediatric Research. *Sleep Med*, 12(8), 793–796. <https://doi.org/10.1111/j.1743-6109.2008.01122.x>
- Middleton, B., Stone, B., & Arendt, J. (2002). Human circadian phase in 12:12 h, 200:<8 lux and 1000:<8 lux light-dark cycles, without scheduled sleep or activity. *Neuroscience Letters*, 329(1), 41–44. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(02\)00574-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(02)00574-8)
- Migeotte, P., Prisk, G., & Paiva, M. (2003). Microgravity alters respiratory sinus arrhythmia and short-term heart rate variability in humans. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 284(6 53-6). <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00409.2002>
- Militello, C., Acunzo, R., Albina, G., Di Toro, D., Tambussi, A., & Ruis, A. (2012). Consenso para el diagnóstico y tratamiento del síncope sociedad argentina de cardiología. *Revista Argentina de Cardiología*, 80(1), 69–90.
- Ministerio de Relaciones Exteriores. (2020a). *Base Belgrano II*. Base Belgrano II. <https://www.cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/dna/antartida-argentina/bases/belgrano-ii>

- Ministerio de Relaciones Exteriores. (2020b). *Bases Antárticas argentinas*. Bases Antárticas Argentinas.
<https://www.cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/dna/antartida-argentina/bases>
- Ministerio de Relaciones Exteriores. (2020c). *Dirección Nacional del Antártico*. Dirección Nacional Del Antártico.
<https://www.cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/dna/direccion-nacional-del-antartico>
- Ministerio de Relaciones Exteriores. (2020d). *Instituto Antártico Argentino*. Instituto Antártico Argentino.
<https://www.cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/dna/instituto-antartico-argentino>
- Ministerio de Relaciones Exteriores. (2020e). *Sector Antártico Argentino*. Sector Antártico Argentino.
<https://www.cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/dna/divulgacion/sector-antartico-argentino>
- Ministerio de Relaciones Exteriores. (2020f). *Sobre La Antártida*. Sobre La Antártida.
<https://www.cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/dna/divulgacion/sobre-la-antartida>
- Ministerio de Relaciones Exteriores. (2020g). *Tratado Antártico*. Tratado Antártico.
<https://www.cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/dna/divulgacion/tratado-antartico>
- Ministerio de Sanidad y Política Social. (2010). *Guía de práctica clínica para el manejo de pacientes con insomnio en atención primaria* (Ministerio de Ciencia e Innovación (ed.); 1st ed.). Estilo Estugraf Impresores.
- Mocellin, J., Suedfeld, P., Bernadelz, J., & Barbarito, M. (1991). Levels of anxiety in polar environments. *Journal of Environmental Psychology* (1991), 11, 265–275. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80187-2](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80187-2)
- Monk, T., Buysse, D., Billy, B., Kennedy, K., & Willrich, L. (1998). Sleep and Circadian Rhythms in Four Orbiting Astronauts. *Journal of Biological Rhythms*, 13(3), 188–201. <https://doi.org/10.1177/074873098129000039>
- Monk, T., Buysse, D., & Rose, L. (1999). Wrist actigraphic measures of sleep in space. *Sleep*, 22(7), 948–954.
<https://doi.org/10.1093/sleep/22.7.948>
- Monk, T., Kennedy, K., Rose, L., & Linenger, J. (2001). Decreased human circadian pacemaker influence after 100 days in space: a case study. *Psychosomatic Medicine*, 63(6), 881–885. <https://doi.org/10.1097/00006842-200111000-00005>.
- Morgenthaler, T., Lee-Chiong, T., Alessi, C., Friedman, L., Aurora, N., Boehlecke, B., Brown, T., Chesson, A., Kapur, V., Maganti, R., Owens, J., Pancer, J., Swick, T., & Zak, R. (2007). Practice parameters for the clinical evaluation and treatment of circadian rhythm sleep disorders: An American Academy of Sleep Medicine report. *Sleep*, 30(11), 1445–1459.
- Mottram, V., Middleton, B., Williams, P., & Arendt, J. (2011). The impact of bright artificial white and “blue-enriched” light on sleep and circadian phase during the polar winter. *Journal of Sleep Research*, 20(1 PART II), 154–161.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2010.00875.x>
- Mulder, E. (2012). *PROJECT - Announcement of Opportunity for Medical, Physiological and Psychological Research Using Concordia Antarctic Station as Human Exploration Analogue AO-11-Concordia*.
- Murray William, J. (1991). A New Method for Measuring Daytime Sleepiness: The Epworth Sleepiness Scale. *Sleep*, 14(6), 540–545. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2007.08.004>
- Najjar, R., Wolf, L., Taillard, J., Schlangen, L., Salam, A., Cajochen, C., & Gronfier, C. (2014). Chronic artificial blue-

enriched white light is an effective countermeasure to delayed circadian phase and neurobehavioral decrements. *PLoS ONE*, 9(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102827>

- Nathaniel, P., Badr, S., Belenky, G., Grandner, M., Kushida, C., Malhotra, R., & Martin, J. (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(6), 591–592. <https://doi.org/10.5664/jcsm.4758>
- Nedeltcheva, A., Kilkus, J., Imperial, J., Kasza, K., Schoeller, D., & Penev, P. (2009). Sleep curtailment is accompanied by increased intake of calories from snacks. *American Journal of Clinical Nutrition*, 89(1), 126–133. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.26574>
- Newman, D., & Lathan, C. (1999). Memory processes and motor control in extreme environments. *IEEE Trans Syst Man Cybern C Appl Rev*, 29(3), 387–394. <https://doi.org/10.1109/5326.777074>
- Nieto, J. (2015). Siesta by decree or sound policy to promote sleep health? Lessons from a municipal proclamation in a rural Spanish town. *Sleep Health*, 1(4), 227–228. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2015.10.003>
- NIH (National Institutes of Health). (2006). *Guide to Publicly Available Sleep-Related Data Resources*. <http://www.nhlbi.nih.gov/about/ncsdr/research/research-a.htm>
- Ode, J., Pivarnik, J., Reeves, M., & Knous, J. (2007). Body mass index as a predictor of percent fat in college athletes and nonathletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(3), 403–409. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000247008.19127.3e>
- Olson, E., Weber, M., Rauch, S., & Killgore, W. (2016). Daytime Sleepiness Is Associated With Reduced Integration of Temporally Distant Outcomes on the Iowa Gambling Task. *Behavioral Sleep Medicine*, 14(2), 200–211. <https://doi.org/10.1080/15402002.2014.974182>
- Pack, A., Pack, A., Rodgman, E., Cucchiara, A., Dinges, D., & Schwab, W. (1995). Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep. *Accident Analysis and Prevention*, 27(6), 769–775. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(95\)00034-8](https://doi.org/10.1016/0001-4575(95)00034-8)
- Pagel, J., & Choukèr, A. (2016). Effects of isolation and confinement on humans-implications for manned space explorations. *Journal of Applied Physiology*, 120(12), 1449–1457. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00928.2015>
- Paine, S. J., Gander, P., & Travier, N. (2006). The epidemiology of morningness/eveningness: Influence of age, gender, ethnicity, and socioeconomic factors in adults (30–49 years). *Journal of Biological Rhythms*, 21(1), 68–76. <https://doi.org/10.1177/0748730405283154>
- Palinkas, L. (2003). On The Ice : Individual And Group Adaptation In Antarctica. *American Psychologist*, 58(5), 1–20.
- Palinkas, L., Johnson, J., & Boster, J. (2004). Social support and depressed mood in isolated and confined environments. *Acta Astronautica*, 54(9), 639–647. [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(03\)00236-4](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(03)00236-4)
- Palinkas, L., & Suedfeld, P. (2008). Psychological effects of polar expeditions. *The Lancet*, 371(9607), 153–163. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61056-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61056-3)
- Pandi-Perumal, S., Smits, M., Spence, W., Srinivasan, V., Cardinali, D., Lowe, A., & Kayumov, L. (2007). Dim light melatonin onset (DLMO): A tool for the analysis of circadian phase in human sleep and chronobiological disorders. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 31(1), 1–11.

<https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2006.06.020>

- Pandi-Perumal, S., Trakht, I., Spence, W., Srinivasan, V., Dagan, Y., & Cardinali, D. (2008). The roles of melatonin and light in the pathophysiology and treatment of circadian rhythm sleep disorders. *Nature Clinical Practice. Neurology*, 4(8), 436–447. <https://doi.org/10.1038/ncpneuro0847>
- Park, E., Cho, M., & Ki, C. S. (2009). Correct use of repeated measures analysis of variance. *Korean Journal of Laboratory Medicine*, 29(1), 1–9. <https://doi.org/10.3343/kjlm.2009.29.1.1>
- Pattyn, N., Van Puyvelde, M., Fernandez-Tellez, H., Roelands, B., & Mairesse, O. (2018). From the midnight sun to the longest night: Sleep in Antarctica. *Sleep Medicine Reviews*, 37, 159–172. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2017.03.001>
- Peri, A., Barbarito, M., Barattoni, M., & Abraham, A. (2000). The Dynamics and the Interpersonal and Intrapersonal Relations Within an Isolated Group in Extreme Environments. *Small Group Research*, 31(3), 251–274. <https://doi.org/10.1177/104649640003100301>
- Peri, A., Mosticoni, R., Mosticoni, S., & Barbarito, M. (1998). *ITER: A computerized test to assess the decision making skills. Preliminary applications* (Issue 8).
- Peri, A., Scarlata, C., & Barbarito, M. (2000). Preliminary studies on the psychological adjustment in the Italian Antarctic summer campaigns. *Environment and Behavior*, 32(1), 72–83. <https://doi.org/10.1177/00139160021972432>
- Pesce, V. D., Cardinali, D. P., & Vigo, D. E. (2022). Melatonin : A Promising Drug to Ameliorate Main Human Space Exploration Risks Melatonin : An Ubiquitous Molecule. In *Handbook of Space Pharmaceuticals* (pp. 1–15). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-50909-9_56-1
- Pickering, T. G., Hall, J. E., Appel, L. J., Falkner, B. E., Graves, J., Hill, M. N., Jones, D. W., Kurtz, T., Sheps, S. G., & Roccella, E. J. (2005). Recommendations for Blood Pressure Measurement in Humans and Experimental Animals. Part 1: Blood Pressure Measurement in Humans A Statement for Professionals From the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Coun. *Circulation*, 111, 1442–1463. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000154900.76284.F6>
- Pilcher, J., & Huffcutt, A. (1996). Effects of sleep deprivation on performance: A meta-analysis. *Sleep*, 19(4), 318–326. <https://doi.org/10.1093/sleep/19.4.318>
- Polugrudov, A., Panev, A., Smirnov, V., Paderin, N., Borisenkov, M., & Popov, S. (2016). Wrist temperature and cortisol awakening response in humans with social jetlag in the North. *Chronobiology International*, 33(7), 802–809. <https://doi.org/10.3109/07420528.2016.1168829>
- Portaluppi, F., & Lemmer, B. (2007). Chronobiology and chronotherapy of ischemic heart disease. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59(9–10), 952–965. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2006.07.029>
- Premkumar, M., Sable, T., Dhanwal, D., & Dewan, R. (2013). Circadian Levels of Serum Melatonin and Cortisol in relation to Changes in Mood, Sleep, and Neurocognitive Performance, Spanning a Year of Residence in Antarctica. *Neuroscience Journal*, 2013, 254090. <https://doi.org/10.1155/2013/254090>
- Preston, L., Grady, M., & Barber, S. (2012). The Catalogue of Planetary Analogues. In *Concepts for Activities in the Field for Exploration*.
- Puertas Cuesta, F. J., Prieto Prieto, F., Sánchez Andrés, J. V., & Aguirre Mardones, C. (2015). Capítulo 1: Neurobiología

del ciclo sueño-vigilia. Modificaciones fisiológicas durante el sueño. In J. Montserrat Canal & F. J. Puertas Cuesta (Eds.), *Patología básica del sueño* (pp. 1–11).

Quera Salva, M. A., Santacana, P., & Galofre, I. (2015). Capítulo 38: Conceptos generales básicos del Tratamiento de los Trastornos del Ritmo Circadiano. In Sociedad Española de Sueño (Ed.), *Tratado de Medicina del Sueño* (pp. 370–372). Editorial Medica Panamericana.

Quera Salva, M., Galofre, I., & Santacana, P. (2015). Capítulo 36: Trastornos del Sueño por alteración del Ritmo Circadiano. In Sociedad Española de Sueño (Ed.), *Tratado de Medicina del Sueño* (pp. 352–358). Editorial Medica Panamericana.

Quevedo Paiva, A. (2001a). 50 Años del Ejército en la Antártida - Título I. Introducción Antártica. Geografía e Historia. In *Medio siglo del ejército argentino en nuestra Antártida: 1951-2001* (pp. 1–412). Editorial Dunker.

Quevedo Paiva, A. (2001b). 50 Años del Ejército en la Antártida - Título II. El Ejército en Acción. Primera Época. In *Medio siglo del ejército argentino en nuestra Antártida: 1951-2001* (pp. 1–412). Editorial Dunker.

Quevedo Paiva, A. (2001c). 50 Años del Ejército en la Antártida - Título III - Segunda Época. Base Esperanza y Base Belgrano. In *Medio siglo del ejército argentino en nuestra Antártida: 1951-2001* (pp. 1–412). Editorial Dunker.

Quevedo Paiva, A. (2001d). 50 Años del Ejército en la Antártida - Título III - Segunda Época. Otras Bases. In *Medio siglo del ejército argentino en nuestra Antártida: 1951-2001* (pp. 1–412). Editorial Dunker.

Quevedo Paiva, A. (2001e). 50 Años del Ejército en la Antártida - Título IV - Situación Política. In E. Dunker (Ed.), *Medio siglo del ejército argentino en nuestra Antártida: 1951-2001* (pp. 1–412).

Rajulu, S. (2018). Chapter 11. Human factors and safety in EVA. In T. Sgobba, B. Kanki, J.-F. Clervoy, & G. Mjeldheim Sandal (Eds.), *Space Safety and Human Performance* (pp. 469–500). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101869-9.00011-X>

Read, P., Lewis, S., & Mulholland, D. (2015). The physics of Martian weather and climate: A review. *Reports on Progress in Physics*, 78(12), 1–106. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/78/12/125901>

Reiter, R., Tan, D. X., Korkmaz, A., Erren, T., Piekarski, C., Tamura, H., & Manchester, L. (2007). Light at night, chronodisruption, melatonin suppression, and cancer risk: A review. *Critical Reviews in Oncogenesis*, 13(4), 303–328. <https://doi.org/10.1615/CritRevOncog.v13.i4.30>

Robles Cabrera, A., Michel Chávez, A., Callejas Rojas, R. C., Malamud Kessler, C., Delgado, G., & Estañol Vidal, B. (2014). Los barorreflejos arteriales cardiovagal, cardiosimpático y vasosimpático y el control neural de la presión arterial a corto plazo. *Revista de Neurología*, 59(11), 508. <https://doi.org/10.33588/rn.5911.2014314>

Roenneberg, T., Kuehnle, T., Juda, M., Kantermann, T., Allebrandt, K., Gordijn, M., & Mrosovsky, M. (2007). Epidemiology of the human circadian clock. *Sleep Medicine Reviews*, 11(6), 429–438. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2007.07.005>

Roenneberg, T., & Mrosovsky, M. (2007). Entrainment of the human circadian clock. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol*, 72, 293–299. <https://doi.org/10.1101/sqb.2007.72.043>

Roenneberg, T., Peter, P., Ricken, J., Havel, M., Guth, A., Mrosovsky, M., & Kuehnle, T. (2004). Supplemental Data: A marker for the end of adolescence. *Current Biology*, 14(24), 1038. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982204009285>

- Roenneberg, T., Pilz, L., Zerbini, G., & Winnebeck, E. (2019). Chronotype and social jetlag: A (self-) critical review. *Biology*, 8(3), 1–19. <https://doi.org/10.3390/biology8030054>
- Roenneberg, T., Wirz-Justice, A., & Merrow, M. (2003). Life between Clocks: Daily Temporal Patterns of Human Chronotypes. *J Biol Rhythms*, 18(1), 80–90. <https://doi.org/10.1177/0748730402239679>
- Rogers, A., Hwang, W.-T., Scott, L., Aiken, L., & Dinges, D. (2004). The working hours of hospital staff nurses and patient safety. *Health Affairs*, 23(4), 202–212. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.23.4.202>
- Rogers, N., Phan, O., Kennaway, D., & Dawson, D. (1998). Effect of daytime oral melatonin administration on neurobehavioral performance in humans. *Journal of Pineal Research*, 25(1), 47–53. <https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.1998.tb00385.x>
- Romero, O., & De la Torre, S. (2015). Capítulo 37.3: Trastorno del Sueño por Paso Rápido por Zonas de Tiempo. In Sociedad Española de Sueño (Ed.), *Tratado de Medicina del Sueño* (pp. 366–369). Editorial Medica Panamericana.
- Ru, W. (2012). Lost in simulated space. *China Daily*, 4. <https://global.chinadaily.com.cn/a/201201/18/WS5a2f3a32a3108bc8c6721eaa.html>
- Ruger, M., Gordijn, M., Beersma, D., de Vries, B., & Daan, S. (2005). Time-of-day-dependent effects of bright light exposure on human psychophysiology: comparison of daytime and nighttime exposure. *AJP: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 290(5), R1413–R1420. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00121.2005>
- Ruggiero, J., & Redeker, N. (2014). Effects of Napping on Sleepiness and Sleep-Related Performance Deficits in Night-Shift Workers: A Systematic Review. *Biological Research for Nursing*, 16(2), 134–142. <https://doi.org/10.1177/1099800413476571>
- Sack, R. (2010). Jet Lag. *New England Journal of Medicine*, 362(5), 440–447. <https://doi.org/10.1056/NEJMc0909838>
- Salazar-Juárez, A., Parra-Gámez, L., Barbosa Méndez, S., Leff, P., & Antón, B. (2007). Las bases neurales del proceso de enmascaramiento. Segunda Parte. *Salud Mental*, 30(1), 56–67. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33252007000100056&lng=es&tling=es.
- Sandal, G. (2018). Chapter 6. Psychological resilience. In T. Sgobba, B. Kanki, J.-F. Clervoy, & G. Mjeldheim Sandal (Eds.), *Space Safety and Human Performance* (pp. 183–237). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101869-9.00006-6>
- Sandal, G. M., van de Vijver, F., & Smith, N. (2018). Psychological hibernation in antarctica. *Frontiers in Psychology*, 9(NOV), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02235>
- Santillana, S. (2013). *Estrategia Científica 2011-2021*.
- Sarabia, J. A., Rol, M. A., Mendiola, P., & Madrid, J. A. (2008). Circadian rhythm of wrist temperature in normal-living subjects. A candidate of new index of the circadian system. *Physiology and Behavior*, 95(4), 570–580. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.08.005>
- Sauer, J., Hockey, G., & Wastell, D. (1999). Performance Evaluation in Analogue Space Environments: Adaptation During an 8- month Antarctic Wintering-Over Expedition. *Aviat Space Environ Med*, 70(3), 1–8. <https://doi.org/10.5860/choice.41-2927.14>

- Scheer, F., Hilton, M., Mantzoros, C., & Shea, S. (2009). Adverse metabolic and cardiovascular consequences of circadian misalignment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(11), 4453–4458. <https://doi.org/10.1073/pnas.0808180106>
- Scheuring, R., Jones, J., Novak, J., Polk, J., Gillis, D., Schmid, J., Duncan, J., & Davis, J. (2008). The Apollo Medical Operations Project: Recommendations to improve crew health and performance for future exploration missions and lunar surface operations. In *Acta Astronautica* (Vol. 63, Issues 7–10). <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2007.12.065>
- Secretariat of the Antarctic Treaty. (2015). *Secretariat of the Antarctic Treaty - Parties*. Secretariat of the Antarctic Treaty. <https://www.ats.aq/devAS/Parties?lang=e#>
- Seely, A., & Macklem, P. (2004). Complex systems and the technology of variability analysis. *Critical Care*, 8(6), 367–384. <https://doi.org/10.1186/cc2948>
- Shechter, A., Boudreau, P., Varin, F., & Boivin, D. (2011). Predominance of distal skin temperature changes at sleep onset across menstrual and circadian phases. *Journal of Biological Rhythms*, 26(3), 260–270. <https://doi.org/10.1177/0748730411404677>
- Shiraishi, M., Kamo, T., Kamegai, M., Baevisky, R., Funtova, I., Chernikova, A., Nemoto, S., Hotta, M., Nomura, Y., & Suzuki, T. (2004). Periodic structures and diurnal variation in blood pressure and heart rate in relation to microgravity on space station MIR. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 58(SUPPL. 1), 31–34. [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(04\)80006-4](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(04)80006-4)
- Smith, M., McCrae, C., Cheung, J., Martin, J., Harrod, C., Heald, J., & Carden, K. (2018). Use of Actigraphy for the Evaluation of Sleep Disorders and Circadian Rhythm Sleep-Wake Disorders: An American Academy of Sleep Medicine Clinical Practice Guideline. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 14(7), 1231–1237. <https://doi.org/10.5664/jcsm.7230>
- Smolensky, M., & D'Alonzo, G. (1993). Medical Chronobiology: Concepts and Applications. *American Review of Respiratory Disease*, 147(6), 2–19. https://doi.org/https://doi.org/10.1164/ajrccm/147.6_Pt_2.S2
- Steinach, M., Kohlberg, E., Maggioni, M. A., Mendt, S., Opatz, O., Stahn, A., & Gunga, H. (2016). Sleep Quality Changes during Overwintering at the German Antarctic Stations Neumayer II and III: The Gender Factor. *PLOS ONE*, 11(2), 1–32. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150099>
- Sung, E. J., & Tochihara, Y. (2000). Effects of bathing and hot footbath on sleep in winter. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 19(1), 21–27. <https://doi.org/10.2114/jpa.19.21>
- Szymusiak, R. (2018). Body temperature and sleep. In *Handbook of Clinical Neurology* (1st ed., Vol. 156). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63912-7.00020-5>
- Takahashi, M. (2003). The role of prescribed napping in sleep medicine. *Sleep Medicine Reviews*, 7(3), 227–235. <https://doi.org/10.1053/smr.2002.0241>
- Tassi, P., & Muzet, A. (2000). Sleep inertia. *Sleep Medicine Reviews*, 4(4), 341–353. <https://doi.org/10.1053/smr.2000.0098>
- Tassinio, 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(1), 20–28.

<https://doi.org/10.1016/j.slsi.2016.01.002>

- Taylor, D., Pye, C., Kibby, J., Peterkin, R., Hindson, R., Lugg, D., & O'Dea, K. (1994). Energy Intake, Anthropometry and Blood Pressure of Expeditioners in the Antarctic. *Arctic Med Res*, 53(5), 71–85. <https://doi.org/10.1121/1.2934955>
- Te Lindert, B., & Van Someren, E. (2018). Skin temperature, sleep, and vigilance. In *Handbook of Clinical Neurology* (1st ed., Vol. 156). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63912-7.00021-7>
- Terman, J. S., Terman, M., Lo, E. S., & Cooper, T. (2001). Circadian time of morning light administration and therapeutic response in winter depression. *Archives of General Psychiatry*, 58(1), 69–75. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.58.1.69>
- Thorpy, M. (2011). Capítulo 20: Clasificación de los trastornos del sueño. In S. Chokroverty (Ed.), *Medicina de los Trastornos del Sueño* (3rd ed., pp. 284–294). <https://doi.org/10.1016/b978-84-8086-733-7.00021-8>
- Van Dongen, H., Baynard, M., Maislin, G., & Dinges, D. (2004). Systematic interindividual differences in neurobehavioral impairment from sleep loss: Evidence of trait-like differential vulnerability. *Sleep*, 27(3), 423–433. <https://doi.org/10.1093/sleep/27.3.423>
- Van Dongen, H., Maislin, G., Mullington, J., & Dinges, D. (2003). The cumulative cost of additional wakefulness. *Sleep (Rochester)*, 26, 117–126. <https://doi.org/10.1093/sleep/26.2.117>
- Van Dongen, H., Vitellaro, K., & Dinges, D. (2005). Individual differences in adult human sleep and wakefulness: Leitmotif for a research agenda. *Sleep*, 28(4), 479–496. <https://doi.org/10.1093/sleep/28.4.479>
- van Marken Lichtenbelt, W., Daanen, H., Wouters, L., Fronczek, R., Raymann, R., Severens, N., & Van Someren, E. (2006). Evaluation of wireless determination of skin temperature using iButtons. *Physiology & Behavior*, 88, 489–497. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.04.026>
- Van Someren, E. (2006). Mechanisms and functions of coupling between sleep and temperature rhythms. *Progress in Brain Research*, 153, 309–324. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)53018-3](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)53018-3)
- Vandewalle, G., Middleton, B., Rajaratnam, S., Stone, B., Thorleifsdottir, B., Arendt, J., & Dijk, D. J. (2007). Robust circadian rhythm in heart rate and its variability: Influence of exogenous melatonin and photoperiod. *Journal of Sleep Research*, 16(2), 148–155. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2007.00581.x>
- Verheyden, B., Liu, J., Beckers, F., & Aubert, A. E. (2010). Operational point of neural cardiovascular regulation in humans up to 6 months in space. *44(Sd 5)*, 646–654. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00883.2009>
- Vigo, D., Siri, L. N., & Cardinali, D. (2019). Heart Rate Variability: A Tool to Explore Autonomic Nervous System Activity in Health and Disease. *Psychiatry and Neuroscience Update*, 3, 113–126. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95360-1_10
- Vigo, D., Tuerlinckx, F., Ogrinz, B., Wan, L., Simonelli, G., Bersenev, E., Van den Bergh, O., & Aubert, A. (2013). Circadian rhythm of autonomic cardiovascular control during mars500 simulated mission to mars. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 84(10), 1023–1028. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3612.2013>
- Vigo, Daniel E, Ogrinz, B., Wan, L., Bersenev, E., Tuerlinckx, F., Van den Bergh, O., & Aubert, A. (2012). Sleep-Wake Differences in Heart Rate Variability During a 105-Day Simulated Mission to Mars. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 83(2), 125–130. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3120.2012>

- Vigo, Daniel Eduardo. (2007). *Dinámica Caótica en la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca: Aspectos Básicos y su Relación con la Clínica*. Universidad de Buenos Aires.
- Walters, J., Skene, D., Hampton, S., & Ferns, G. (2003). Biological rhythms, endothelial health and cardiovascular disease. *Medical Science Monitor*, 9(1), RA1-A8. <https://doi.org/2856> [pii]
- Wan, L., Ogrinz, B., Vigo, D., Bersenev, E., Tuerlinckx, F., Van den Bergh, O., & Aubert, A. (2011). Cardiovascular Autonomic Adaptation to Long-Term Confinement During a 105-Day Simulated Mars Mission. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 82(7), 711–716. <https://doi.org/10.3357/ASEM.2986.2011>
- Weitzman, E. D., DeGraaf, A. S., Sassin, J. F., Hansen, T., Godtliebsen, O. B., Perlow, M., & Hellman, L. (1975). Seasonal patterns of sleep stages and secretion of cortisol and growth hormone during 24 hour periods in northern Norway. *Acta Endocrinologica*, 78(1), 65–76. <https://doi.org/10.1530/acta.0.0780065>
- Welch, P. (1967). The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging Over Short, Modified Periodograms. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 15(2), 70–73. <https://doi.org/10.1109/TAU.1967.1161901>
- Weymouth, W., & Steel, G. D. (2013). Sleep patterns during an antarctic field expedition. *Military Medicine*, 178(4), 438–444. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-12-00447>
- Whitmire, A. M., Leveton, L. B., Barger, L., Brainard, G., Dinges, D. F., Klerman, E., & Shea, C. (2009). Risk of performance errors due to sleep loss, circadian desynchronization, fatigue, and work overload. *Human Health and Performance Risks of Space Exploration Missions: Evidence Reviewed by the NASA Human Research Program*, 85–116.
- Wichniak, A., Jankowski, K., Skalski, M., Skwarło-Sońta, K., Zawilska, J., Żarowski, M., Poradowska, E., & Jernajczyk, W. (2017a). Treatment guidelines for Circadian Rhythm Sleep – Wake Disorders of the Polish Sleep Research Society and the Section of Biological Psychiatry of the Polish Psychiatric Association, part I: Physiology, assessment, and therapeutic methods. *Psychiatria Polska*, 51(5), 793–814. <https://doi.org/10.12740/pp/onlinefirst/66810>
- Wichniak, A., Jankowski, K., Skalski, M., Skwarło-Sońta, K., Zawilska, J., Żarowski, M., Poradowska, E., & Jernajczyk, W. (2017b). Treatment guidelines for Circadian Rhythm Sleep – Wake Disorders of the Polish Sleep Research Society and the Section of Biological Psychiatry of the Polish Psychiatric Association, part II: Diagnosis and treatment. *Psychiatria Polska*, 51(5), 815–832. <https://doi.org/10.12740/pp/68918>
- Wilkinson, R., Fox, R., Goldsmith, F., Hampton, I., & Lewis, H. (1964). Psychological and Physiological Responses To Raised Body Temperature. *Journal of Applied Physiology*, 19(2), 287–291. <https://doi.org/10.1152/jappl.1964.19.2.287>
- Williamson, A., & Feyer, A. (2000). Moderate sleep deprivation produces impairments in cognitive and motor performance equivalent to legally prescribed levels of alcohol intoxication. *Occup Environ Med*, 57, 649–655. <https://doi.org/10.1136/oem.57.10.649>
- Wilson, K. (2018). Chapter 18. Human factors mishap investigation. In T. Sgobba, B. Kanki, J.-F. Clervoy, & G. Mjeldheim Sandal (Eds.), *Space Safety and Human Performance* (pp. 809–831). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101869-9.00018-2>
- Wittmann, M., Dinich, J., Merrow, M., & Roenneberg, T. (2006). Social jetlag: Misalignment of biological and social time.

- Wood, J., Schmidt, L., Lugg, D., Ayton, J., Phillips, T., & Shepanek, M. (2005). Life, Survival and Behavioral Health in Small Closed Communities: 10 Years of Studying Isolated Antarctic Groups. *Aviat Space Environ Med*, 76(6), 89–93.
- Wright, K., Badia, P., Myers, B., & Plenzler, S. (1997). Combination of bright light and caffeine as a countermeasure for impaired alertness and performance during extended sleep deprivation. *Journal of Sleep Research*, 6(1), 26–35. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.1997.00022.x>
- Wright, K., Badia, P., Myers, B., Plenzler, S., & Hakel, M. (1997). Caffeine and light effects on nighttime melatonin and temperature levels in sleep-deprived humans. *Brain Research*, 747(1), 78–84. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(96\)01268-1](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(96)01268-1)
- Wright, K., Hughes, R., Kronauer, R., Dijk, D. J., & Czeisler, C. (2001). Intrinsic near-24-h pacemaker period determines limits of circadian entrainment to a weak synchronizer in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(24), 14027–14032. <https://doi.org/10.1073/pnas.201530198>
- Wright, K., Hull, J., & Czeisler, C. (2002). Relationship between alertness, performance, and body temperature in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 283(6), 1370–1377. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00205.2002>
- Wright, K., Hull, J., Hughes, R., Ronda, J., & Czeisler, C. (2006). Sleep and wakefulness out of phase with internal biological time impairs learning in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(4), 508–521. <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.4.508>
- Wu, J., Gillin, J., Buchsbaum, M., Hershey, T., Hazlett, E., Sicotte, N., & Bunney, W. (1991). The Effect of Sleep Deprivation on Cerebral Glucose Metabolic Rate in Normal Humans Assessed with Positron Emission Tomography. *Sleep*, 14(2), 155–162. <https://doi.org/10.1093/sleep/14.2.155>
- Wyatt, J., Ritz-De Cecco, A., Czeisler, C., & Dijk, D. J. (1999). Circadian temperature and melatonin rhythms, sleep, and neurobehavioral function in humans living on a 20-h day. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 277(4 46-4). <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1999.277.4.r1152>
- Xu, D., Shoemaker, J., Blaber, A., Arbeille, P., Fraser, K., & Hughson, R. (2013). Reduced heart rate variability during sleep in long-duration spaceflight. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 305(2), 164–170. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00423.2012>
- Yoneyama, S., Hashimoto, S., & Honma, K. (1999). Seasonal changes of human circadian rhythms in Antarctica. *American Journal of Physiology*, 277(4 46-4), 1091–1097. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1999.277.4.r1091>
- Zimmer, M., Cabral, J. C., Borges, F., Côco, K., & Hameister, B. da R. (2013). Psychological changes arising from an Antarctic stay: systematic overview. *Estudos de Psicologia (Campinas)*, 30(3), 415–423. <https://doi.org/10.1590/S0103-166X2013000300011>
- Zivi, P., De Gennaro, L., & Ferlazzo, F. (2020). Sleep in Isolated, Confined, and Extreme (ICE): A Review on the Different Factors Affecting Human Sleep in ICE. *Frontiers in Neuroscience*, 14(August). <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00851>