

Condiciones extremas de vida en la Antártida y su impacto sobre el sistema cardiovascular

Extreme Living Conditions in Antarctica and Their Impact on the Cardiovascular System

MARTÍN PUIGDOMENECH¹, RICARDO IGLESIAS², ANTONIO BERTARINI³, BRIAN SILVAN SCHACHTEL⁴, SANTIAGO PEREZ LLORET⁵, ANA AZARA⁶, ROXANA RATTO⁶, MATÍAS DEPRATI⁶

RESUMEN

Introducción: La Antártida es uno de los sitios más desafiantes para invernarse, tanto por sus características meteorológicas, sus patrones de luz extremo, su interacción social limitada, como por sus condiciones de aislamiento.

Objetivo: Investigar el comportamiento de los parámetros cardiovasculares bajo condiciones de confinamiento, desajustes circadianos, aislamiento prolongado, y en una zona con escasa contaminación ambiental.

Material y métodos: estudio observacional, analítico y longitudinal, en un grupo de 23 militares entrenados y sanos, en la base argentina Belgrano II en la Antártida. Se realizaron determinaciones de temperatura corporal, ambiental y exterior, medición de cintura abdominal y control de peso, composición corporal por impedanciometría, ergometría, y ECG Holter de 24 horas. Las mediciones fueron mensuales, durante 12 meses incluyendo un basal, los meses de oscuridad-noche polar y los meses de luz permanente (confinamiento). Cada individuo fue control de sí mismo. Se compararon los estudios basales con los períodos de oscuridad y luz, además de ambos períodos entre sí. Las mediciones se realizaron entre enero 2023/enero 2024

Resultados: Los participantes fueron hombres entrenados, con edad media $34,7 \pm 5,1$ años (rango 27-43), bajo la misma alimentación, exigencias físicas y temperatura. No se registraron diferencias significativas en los parámetros corporales. El análisis reveló una disminución significativa en la ergometría de la frecuencia cardíaca (FC), tensión arterial sistólica y diastólica en reposo, en máximo esfuerzo y en la recuperación, en los períodos de oscuridad/luz respecto del basal.

Igual tendencia se observó en el registro Holter, con una significativa variabilidad de la FC en la etapa de confinamiento comparada con la basal.

No se detectaron diferencias entre los períodos de oscuridad/luz.

Conclusiones: Este comportamiento refleja la actividad del sistema nervioso autónomo sobre la función cardíaca, y sugiere un patrón neurovegetativo incrementado, a predominio vagal. Las implicancias de este estudio se extienden a ámbitos relacionados con la salud, el trabajo en regiones polares y en la exploración espacial.

Palabras clave: Regiones Antárticas - Ambientes extremos - Ritmos circadianos - Contaminación atmosférica - Variabilidad de la frecuencia cardíaca - Vuelos espaciales

ABSTRACT

Background: Antarctica is one of the most challenging places to overwinter due to its meteorological characteristics, extreme light patterns, limited social interaction, and isolation.

Objective: To analyze cardiovascular function under conditions of confinement, circadian disruption, and prolonged isolation in a low-pollution area.

Methods: Observational, analytical and longitudinal study in a group of 23 trained and healthy military personnel at the Argentinean Belgrano II Base in Antarctica. Body temperature, environmental and outdoor temperature were recorded. Abdominal waist circumference, body weight control and body composition were determined using bioelectrical impedance. The results of the exercise stress test and 24-hour Holter ECG were recorded.

Measurements were made monthly for 12 months, including a baseline period, polar continuous darkness months, and continuous daylight months (confinement). Each individual was self-controlled. The baseline results were compared with those from the dark and light periods, and both periods were compared with each other. Measurements were made between January 2023 and January 2024.

REV ARGENT CARDIOL 2025;93:124-133. <https://doi.org/10.7775/rac.es.v93.i2.20882>

Recibido: 06/01/2025 - Aceptado: 07/03/2025

Dirección para correspondencia: Ricardo Iglesias. Correo electrónico: ricardomiglesias@gmail.com

Fuentes de apoyo (equipamiento): Laboratorio Elea



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

©Revista Argentina de Cardiología

¹ Hospital Militar Regional Mendoza.

² Hospital Alta Complejidad Formosa.

³ Hospital Central Mendoza.

⁴ Enf. Comando Conjunto Antártico.

⁵ Observatorio de Salud, Universidad Católica Argentina, CONICET.

⁶ Dir. Asuntos médicos Laboratorio Elea.

Results: The participants were trained men, with a mean age of 34.7 ± 5.1 years (range: 27-43), all exposed to the same diet, physical demands and ambient temperature. No significant differences were observed in body composition parameters. The analysis showed a significant decrease in the heart rate (HR), systolic blood pressure (BP) and diastolic BP at rest, during maximal effort and during recovery on the exercise stress test, during the dark and light periods compared to baseline.

A similar trend was observed in the Holter ECG recordings, which showed significant changes in HR variability in the confinement phase compared to baseline. No differences were detected between the dark and light periods.

Conclusions: This behavior reflects autonomic nervous system activity on cardiac function, and suggests an increased neurovegetative pattern, predominantly vagal. The implications of this study are relevant to the fields of healthcare, occupational performance in polar environments and space exploration.

Key words: Antarctic regions - Extreme environments - Circadian rhythms – Air pollution - Heart rate variability - Spaceflight

INTRODUCCIÓN

La Antártida es el continente más austral de la Tierra, y uno de los sitios más hostiles e inhóspitos del planeta. Debido a su localización y a la inclinación del eje terrestre respecto del plano orbital, recibe menor radiación solar, lo cual provoca las bajas temperaturas que caracterizan a este lugar, que pueden llegar hasta los -54° durante el invierno. El clima es seco y con fuertes vientos. (1)

Tiene el aire más limpio del planeta; es una región atmosférica no afectada por las actividades humanas, y por lo tanto no llega la contaminación traída por los vientos.

La Argentina ocupa el territorio denominado “Sector Antártico Argentino”, con una superficie aproximadamente de $1.461.597 \text{ km}^2$. Dentro del territorio argentino hay 13 bases. Una de ellas, la Base Belgrano II, la más austral, se ubica a 1300 km del Polo Sur. Es considerada una de las bases más aislada, con un acceso muy difícil, y se puede tardar varios días en llegar desde otras bases. (Fotografía)

Es ocupada y mantenida cada año por personal del Comando Conjunto Antártico, que convive en la base a lo largo de un año completo (enero a enero). Durante este período no hay recambio de personal ni estancias breves de otras personas. Cumplen tareas relacionadas con el mantenimiento de la base, tareas domésticas y científicas, con un esquema de trabajo de ocho horas (9 AM - 6 PM) de lunes a viernes, con horarios precisos para desayunar, almorzar y cenar. La alimentación es nula en vegetales y alta en alimentos enlatados.

Una de las características más reconocidas de la Base Belgrano II es su fotoperíodo extremo, con cuatro meses de noche polar (oscuridad constante) y cuatro meses de día (luz solar constante). Estas variaciones la convierten en un escenario natural ideal para estudiar la influencia de la luz natural sobre los ritmos circadianos. La información lumínica es considerada una de las fuentes principales de sincronización del reloj central, y la escasa o nula exposición a ella puede desencadenar innumerables desajustes en el funcionamiento de la fisiología humana. (2)

Belgrano II es considerada una de las bases más desafiantes para invernar, tanto por sus características meteorológicas, sus patrones de luz extremos, su

interacción social limitada, como por sus condiciones de aislamiento. Es una de las bases más requeridas y reconocidas internacionalmente para el estudio de estas variables y representa uno de los escenarios experimentales más fieles como análogo espacial, ya que, reúne en único sitio muchas características ambientales específicas que no se reproducen en otros lugares.

Nuestro objetivo fue investigar el comportamiento de las funciones cardiovasculares bajo estas condiciones de desajustes circadianos, confinamiento, aislamiento prolongado, y especialmente en una zona con escasa contaminación ambiental.

MATERIAL Y MÉTODOS

El nuestro fue un estudio observacional, analítico y longitudinal llevado a cabo en la Base Antártica Argentina Belgrano II. Fue incluido el grupo total de 23 militares entrenados y sanos que fueron enviados a la base, todos aceptaron participar en el proyecto.

En todos ellos se realizó control de peso corporal, medición de cintura abdominal, composición corporal por impedanciometría (OMRON® hbf-514c). Se registró la temperatura corporal, ambiental y exterior.

Se realizó ergometría con equipo Cardiovex®, en cicloergómetro Technogym®, que calcula automáticamente los equivalentes metabólicos del consumo de oxígeno (METs), con mediciones de tensión arterial (TA) basal y en máximo esfuerzo (Mx. esfuerzo), recuperación al minuto y a los 3 minutos, METs alcanzados, saturación de oxígeno (SatO_2) basal y Mx. esfuerzo. El protocolo utilizado fue el de Astrand, con etapas de carga ascendentes de 300, 600, 900, 1200 y 1500 kgm. Se utilizó el mismo protocolo para todos los integrantes.

Además, se llevó a cabo ECG Holter de 24 horas (Eccosur HT107®) con medición de cantidad de latidos al día, frecuencia cardíaca máxima y mínima (FC Máx. y Min.), variabilidad de la FC (SDNN) y presencia de arritmias.

Las mediciones se realizaron durante los meses de marzo (basal), junio, julio y agosto (meses de oscuridad-noche polar), y octubre, noviembre y enero (meses de luz).

Se compararon los estudios basales con los períodos de oscuridad y luz, además de ambos períodos entre sí.

Análisis estadístico

Se empleó un análisis de Ecuaciones de Estimación Generalizadas (*Generalized Estimating Equations -GEE-*) para el análisis de las variaciones de las variables ergométricas en las diferentes instancias de evaluación. GEE permite modelizar la correlación entre las mediciones pertenecientes al mismo sujeto, permitiendo así las comparaciones entre las instancias

de evaluación. Se evaluó la validez del modelo empleando dos matrices de correlación: intercambiable o autocorrelación -1. La primera asume que existe una correlación similar entre todos los pares de mediciones. La autocorrelación -1 asume que cada medición está relacionada con la medición anterior, pero no necesariamente con el resto. Asimismo, se evaluó la validez de los modelos que asumían una distribución paramétrica o no paramétrica de los datos. Los datos mediante el estadístico QIC (Quasilikelihood under the Independence Model Criterion). Se seleccionó el modelo con el QIC más bajo. Se utilizaron contrastes para realizar todas las comparaciones pareadas. Este tipo de análisis impone una penalidad por el hecho de realizar múltiples comparaciones. Se empleó la técnica de Holms para computar la penalidad.

Con base en el modelo de GEE se realizaron comparaciones entre los valores de las variables al inicio del confinamiento (basal) con los del confinamiento en la Base (confinamiento). Finalmente, se utilizaron contrastes sobre el modelo GEE para la comparación entre sí de los meses pertenecientes al período de invierno meses de oscuridad y al de meses de luz.

Los modelos no incluyeron covariables.

Para el análisis de los horarios de los máximos y mínimos de la FC en el ECG Holter de 24 hs se utilizó estadística circular. Las variables cuantitativas se expresan como medias, desviación estándar e intervalos de confianza del 95%. Los resultados se expresan en horas en formato decimal. Las comparaciones entre grupos se realizaron mediante la prueba de Watson-Williams.

Para la comparación entre sí de los meses pertenecientes al período de meses de oscuridad y meses de luz se utilizaron contrastes sobre el modelo GEE ajustado utilizando los meses individuales.

Se seleccionó el nivel crítico de alfa en 0,05. Todos los análisis estadísticos se realizaron empleando R 4.4 (The R Foundation, Vienna), utilizando las librerías *geepack*, *modelbased*, *performance*, *parameters*, *circular*. (3-5)

Consideraciones éticas

Los 23 individuos que se incorporaron al estudio firmaron consentimiento informado, aprobado por el comité de bioética del Hospital Central de la Provincia de Mendoza y fue llevado a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki y sus enmiendas.

RESULTADOS

Los 23 participantes fueron hombres, entrenados con una edad media $34,7 \pm 5,1$ años (rango 27-43), con el tabaquismo como único factor de riesgo cardiovascular presente, en solo 7 individuos (30%); todos bajo la misma alimentación, exigencias físicas y temperatura (Tabla 1). Las mediciones se realizaron entre enero 2023 y enero 2024. No se registraron diferencias significativas en los parámetros corporales. (Tabla 2).

Comportamiento de las pruebas ergométricas

El análisis reveló diferencias significativas entre el período de oscuridad y de luz (confinamiento) comparado con el basal, con una disminución de la FC: basal 79,8 lpm (IC 95% 75,4-85,9) vs. confinamiento 74,1 lpm (IC 95% 71,4-78,5), $p=0,005$. (Tabla 3)

Igual comportamiento se detectó en la TA sistólica: basal 118,26 mmHg (IC 95% 114,06-122,78) vs. confinamiento 112,62 mmHg (IC 95% 110,37-114,97), $p < 0,001$; y de la TA diastólica: basal 76,15 mmHg (IC 95% 73,19-78,73) vs. confinamiento 69,84 mmHg (IC 95% 66,81-70,94), $p < 0,001$.

Hallazgos similares se dieron con la FC en el máximo esfuerzo: basal 176,91 lpm (IC 95% 172,72-181,32)

Tabla 1. Temperaturas

	Basal	Meses de oscuridad	Meses de luz
Temperatura externa	-12,6 ± 3,34	-22,8 ± 7,43	-7,51 ± 6,24
Temperatura interna	21,5 ± 1,78	23,1 ± 0,718	23,8 ± 0,415
Temperatura corporal	35,7 ± 0,819	35,4 ± 0,516	35,4 ± 0,640

Las temperaturas se expresan en grados centígrados

Tabla 2. Parámetros corporales

	Basal (N = 23)	Meses de oscuridad				Meses de luz	
		06-2023 (N = 23)	07-2023 (N = 23)	08-2023 (N = 23)	10-2023 (N = 23)	11-2023 (N = 23)	01-2024 (N = 23)
Peso (Kg)	81,8 ± 13,9	81,6 ± 12,9	82,1 ± 13,1	82,0 ± 12,4	81,9 ± 12,0	81,4 ± 11,2	81,5 ± 11,2
IMC	27,2 ± 4,4	27,2 ± 4,1	27,1 ± 4,5	27,3 ± 4	27,3 ± 3,8	27,1 ± 3,6	27,1 ± 3,5
% Grasa corporal	25,6 ± 7,3	26,3 ± 6,9	26,1 ± 7,6	26,3 ± 6,3	26,2 ± 6,0	26,1 ± 5,3	25,8 ± 5,4
% Masa muscular	35,9 ± 4,1	35,4 ± 3,9	35,2 ± 4,2	35,4 ± 3,6	35,5 ± 3,5	35,5 ± 3,0	35,7 ± 3,1
Tasa metabólica basal (Kcal/día)	1780 ± 184	1770 ± 168	1780 ± 173	1780 ± 163	1780 ± 156	1770 ± 148	1770 ± 147
Grasa visceral relativa (%)	10,1 ± 4,2	10,2 ± 4,1	10,3 ± 4,3	10,5 ± 3,9	10,5 ± 3,7	10,3 ± 3,6	10,3 ± 3,5
Cintura (cm)	93,3 ± 11,2	89,7 ± 8,4	89,9 ± 9,1	88,7 ± 8,5	88,8 ± 7,8	88,0 ± 7,1	88,7 ± 6,6

IMC: Índice de masa corporal

Tabla 3. Comportamiento de las pruebas ergométricas

	Basal	Meses de oscuridad	Meses de luz	p
Ergometría (basal)				
Sat O ₂	97,8 ± 1,4	97,9 ± 1,4	97,8 ± 1,3	0,324
FC (lpm)	79,8 ± 12,9	74,3 ± 11,4	74,0 ± 11,3	<0,005
TA sistólica (mmHg)	118 ± 11,5	112 ± 7,2	113 ± 8,8	<0,001
TA diastólica (mmHg)	76,1 ± 6,5	68,2 ± 8,1	69,9 ± 9,1	<0,001
Ergometría (máx)				
Sat O ₂	96,8 ± 1,8	96,2 ± 2,1	96,1 ± 2,4	0,023
FC (lpm)	177 ± 10,8	169 ± 11,7	168 ± 11,0	<0,001
TA sistólica (mmHg)	164 ± 15,6	153 ± 13,3	159 ± 14,3	<0,001
TA diastólica (mmHg)	88,7 ± 6,9	91,6 ± 6,1	95,4 ± 8	<0,001
Ergometría (recup. 1 min)				
Sat O ₂	97,7 ± 1,2	96,2 ± 2,1	96,2 ± 2,1	0,008
FC (lpm)	147 ± 16,6	149 ± 13,6	151 ± 12,8	
TA sistólica (mmHg)	153 ± 19,4	145 ± 13,3	153 ± 14,9	0,004
TA diastólica (mmHg)	78,7 ± 9,7	81,2 ± 8,6	74,9 ± 8,5	0,002
Ergometría (recup. 3 min)				
Sat O ₂	98,1 ± 1,2	97,8 ± 1,2	97,3 ± 1,4	<0,001
FC (lpm)	116 ± 15,0	108 ± 15,4	107 ± 15,1	<0,001
TA sistólica (mmHg)	129 ± 13,2	125 ± 14,0	125 ± 11,7	<0,001
TA diastólica (mmHg)	77,0 ± 5,6	74,4 ± 8,9	73,2 ± 8,6	<0,005
METs alcanzados	9,76 ± 1,5	10,0 ± 1,6	10,2 ± 1,42	0,184

FC: frecuencia cardíaca; lpm: latidos por minuto; max: máximo; METs: equivalentes metabólicos de consumo de O₂; recup: recuperación; Sat O₂: saturación de O₂; TA: tensión arterial

vs. confinamiento 168,76 lpm (IC 95% 165,31-172,36), $p < 0,001$; y con la TA sistólica en el máximo esfuerzo: basal 163,94 mmHg (IC 95% 158,00-170,34) vs. confinamiento 155,87 mmHg (IC 95% 151,56-160,45), $p < 0,001$.

A diferencia de lo que se observó con la TA sistólica, la TA diastólica en el máximo esfuerzo fue superior durante el confinamiento: basal 87,85 mmHg (IC 95% 85,14-90,74) vs. confinamiento 92,38 mmHg. (IC 95% 90,74-94,08), $p < 0,001$.

La SatO₂ en la recuperación tuvo un descenso poco significativo: basal 98,07% (IC 95% 97,60-98,55) vs. confinamiento 97,49% (IC 95% 97,20-97,79).

Hubo también cambios significativos en la recuperación: FC basal 115,08 lpm (IC 95% 108,68-122,27) vs. confinamiento 106,46 lpm (IC 95% 100,95-112,61), $p < 0,001$; TA sistólica basal 128,52 mmHg (IC 95% 123,54-133,93) vs. confinamiento 124,36 mmHg (IC 95% 120,99-127,92), $p = 0,035$; y TA diastólica: basal 76,88 mmHg (IC 95% 74,52-79,39) vs. confinamiento 73,48 mmHg (IC 95% 71,03 - 76,11), $p < 0,001$.

Las Figuras 1, 2 y 3 ilustran el comportamiento de las variables citadas en la ergometría basal, y las realizadas en los meses de luz y oscuridad

No se detectaron diferencias en estos parámetros entre los períodos de oscuridad y de luz, ni en los METs alcanzados.

Análisis de los estudios ECG Holter

Se observó una disminución de la FC mínima en los meses de oscuridad y luz, en comparación con el basal, sin diferencias entre ambos períodos ($p < 0,005$).

La FC máxima se detectó en las horas de trabajo al aire libre (apaleamiento de nieve), siendo significativamente más alta en la etapa de confinamiento ($p < 0,001$).

Se detectó una significativa variabilidad de la FC en la etapa de confinamiento comparada con la basal ($p = 0,005$), y no se evidenció presencia de arritmias de importancia clínica. (Tabla 4)

DISCUSIÓN

La mayoría de los estudios en el Continente Blanco se centraron sobre los patrones de sueño, con escasa información del impacto de las complejas condiciones de vida sobre el sistema cardiovascular. (6)

Los ambientes extremos desafían las condiciones fisiológicas de los seres humanos para adaptarse a

Fotografía de la Base Belgrano II; se ubica a 1300 km del Polo Sur y a 4953 km de Buenos Aires



este tipo de situaciones complejas, resultado de la combinación de diferentes variables, tales como el clima, el confinamiento, el aislamiento y la ausencia de luz natural. (7)

Estudiar cómo las personas viven en estas condiciones puede generar valiosa información, con potenciales beneficios en cuestiones relacionadas con la salud o con la seguridad. Además, este es uno de los escenarios experimentales más fieles como análogo espacial, ya que reúne muchas características ambientales específicas. (8,9)

Este trabajo pretendió evidenciar los cambios fisiológicos de la TA y de la FC en la adaptación humana a ambientes extremos, mediante la recolección longitudinal de mediciones de hasta once meses en forma continua, lo que permitió observar con precisión cambios a lo largo del tiempo.

Se observó en la etapa de confinamiento un claro descenso y una marcada variabilidad de la FC, y una caída de la TA.

Este comportamiento refleja la actividad del sistema nervioso autónomo sobre la función cardíaca, y sugiere un patrón neurovegetativo incrementado, a predominio vagal.

Varios factores inciden sobre la variabilidad de la FC y en general sobre el inotropismo y el cronotropismo cardíacos; tal es el caso del sistema nervioso autónomo, que modifica factores cardiovasculares como la FC, la fuerza contráctil, el redireccionamiento del flujo sanguíneo a zonas de mayor demanda vascular y el control de la TA a corto plazo a través de diferentes receptores tanto simpáticos como parasimpáticos. (10)

Es interesante plantear cuál o cuáles son los posibles mecanismos fisiológicos que justifican este desempeño.

Alteraciones del ritmo circadiano

La Tierra rota sobre su eje, y por lo tanto presenta dos ambientes bien definidos: la luz y la oscuridad. Los seres vivos han respondido desarrollando mecanismos específicos de predicción para adaptarse. Este es el origen de los ritmos biológicos que se repiten cada 24 horas.

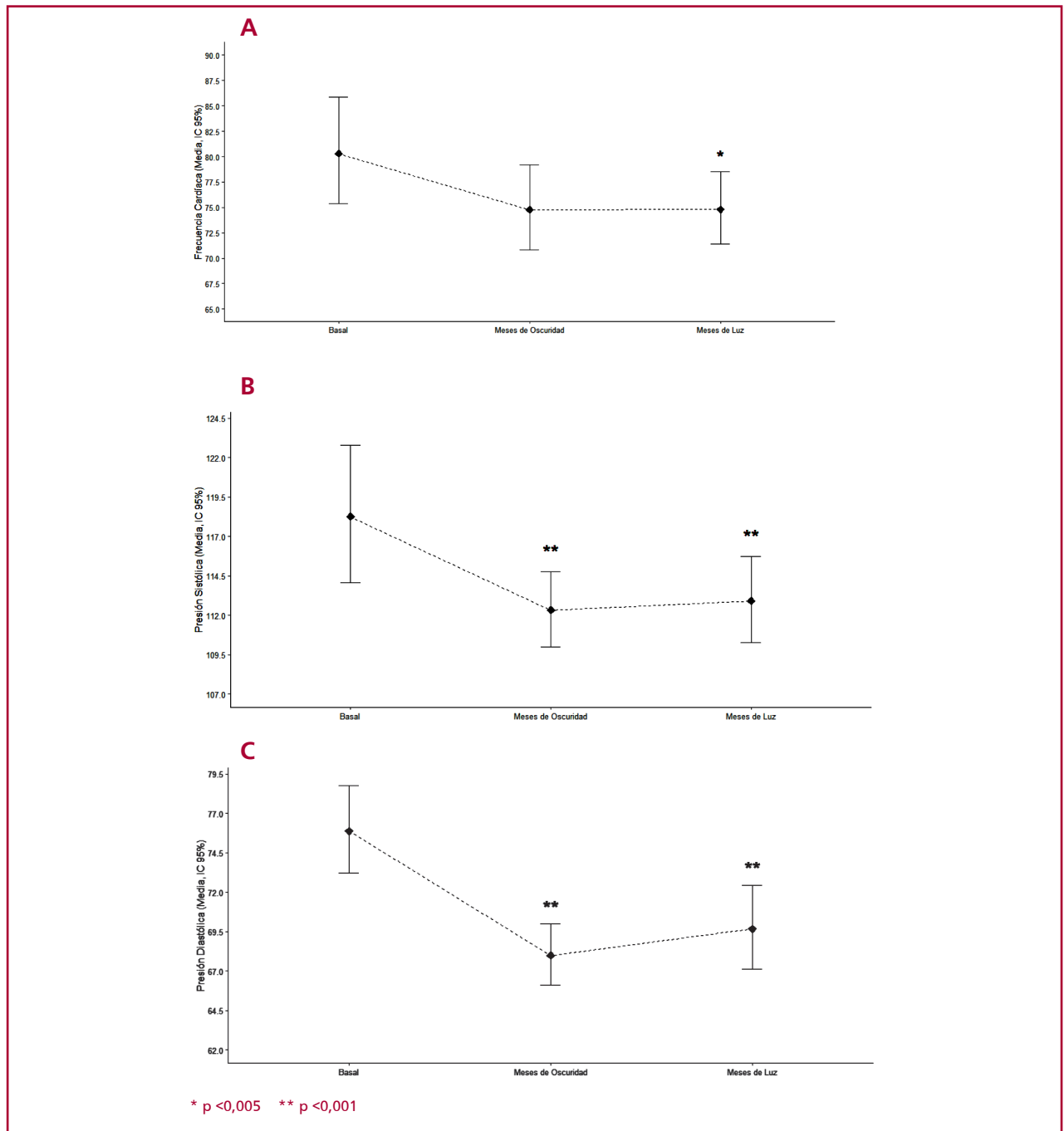
Los resultados vinculados al cronotipo y al ritmo circadiano de actividad confirmaron el rol que cumple la luz en la sincronización de la fase del sueño. Se observó una disminución de la duración de sueño, junto con un retraso del cronotipo y un aumento del *jet lag* social durante la noche polar. (11,12)

En este estudio el ciclo circadiano no parece influir en las variables fisiológicas analizadas, pues no se detectaron diferencias en el comportamiento cardiovascular entre el período de oscuridad y el período de luz.

Contaminación ambiental

El medioambiente es un fuerte determinante de salud cardiovascular. (13) La contaminación atmosférica accede al organismo a través de los alveolos y promueve el desarrollo de enfermedad cardiovascular mediante la activación de distintos mecanismos, incluyendo inflamación, disfunción endotelial, estrés oxidativo, disfunción autonómica y trombogenicidad. (14)

La exposición crónica a contaminación atmosférica se ha asociado con un incremento de la inflamación, la

Fig. 1. Ergometría: parámetros de reposo en las pruebas basal y de los meses de oscuridad y de luz

A. Frecuencia cardíaca; B. Tensión arterial sistólica; C. Tensión arterial diastólica

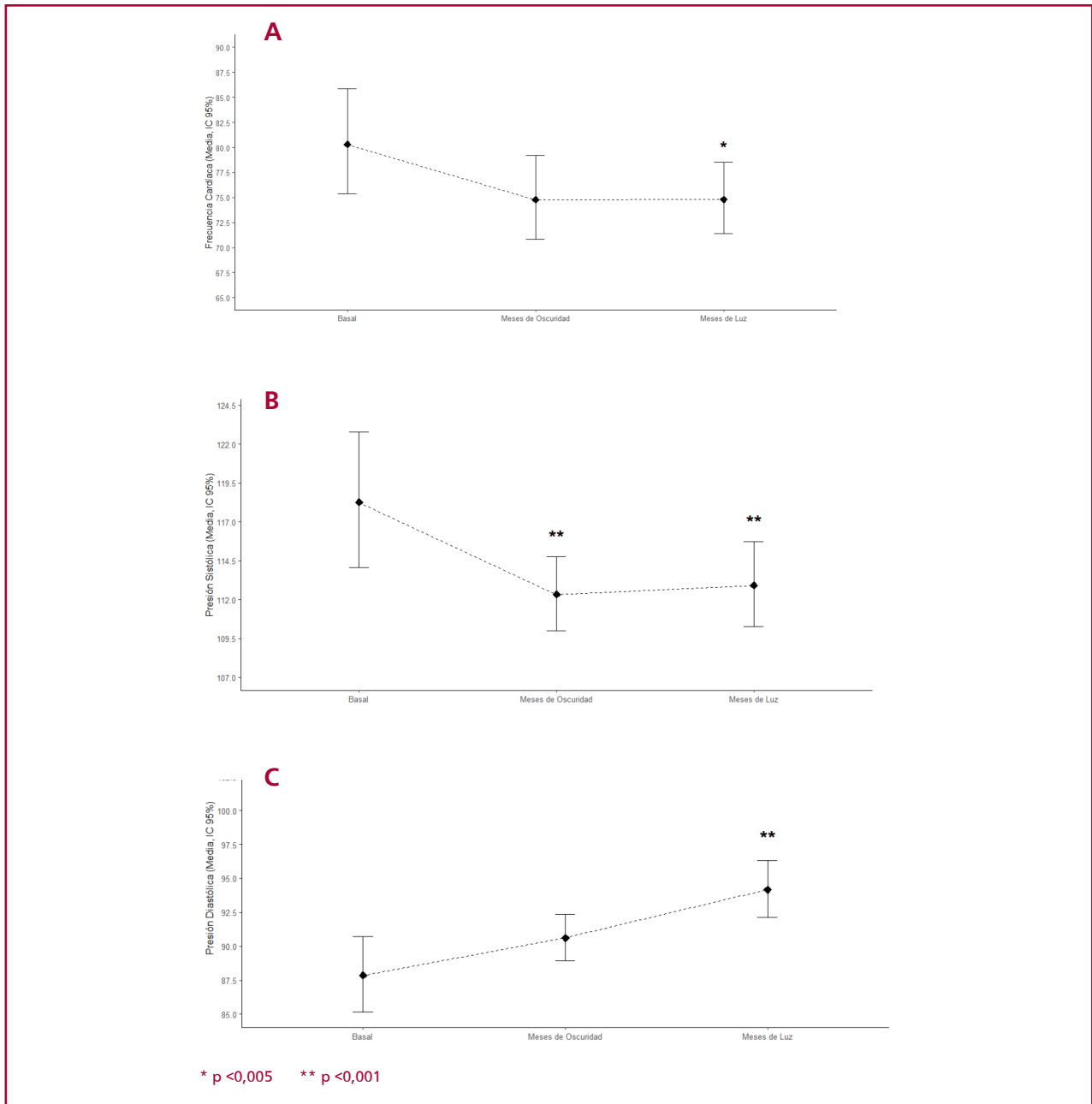
cual promueve la producción de interleuquina 6 (IL-6) y proteína C reactiva, entre otros marcadores inflamatorios asociados con mayor riesgo de enfermedad. (15)

Varios contaminantes ambientales pueden provocar disfunción autonómica, desencadenando arcos reflejos que alteran la FC y favorecen las arritmias. (16) En la mayoría de los estudios epidemiológicos se han descrito asociaciones negativas entre diferentes índices de variabilidad del ritmo cardíaco y los ni-

veles de partículas muy pequeñas en el aire con un diámetro menor a 2,5 micrómetros (MP2,5) y otros contaminantes. (17,18)

El plomo, por ejemplo, puede sustituir al calcio en la calmodulina. Este mecanismo se ha relacionado con la regulación de la óxido nítrico sintetasa, afectando a la producción del óxido nítrico, que juega un papel clave en la función endotelial y en la inhibición de la agregación plaquetaria. (19)

Fig. 2. Ergometría: parámetros en máximo esfuerzo en las pruebas basal y de los meses de oscuridad y de luz



A. Frecuencia cardíaca; B. Tensión arterial sistólica; C. Tensión arterial diastólica

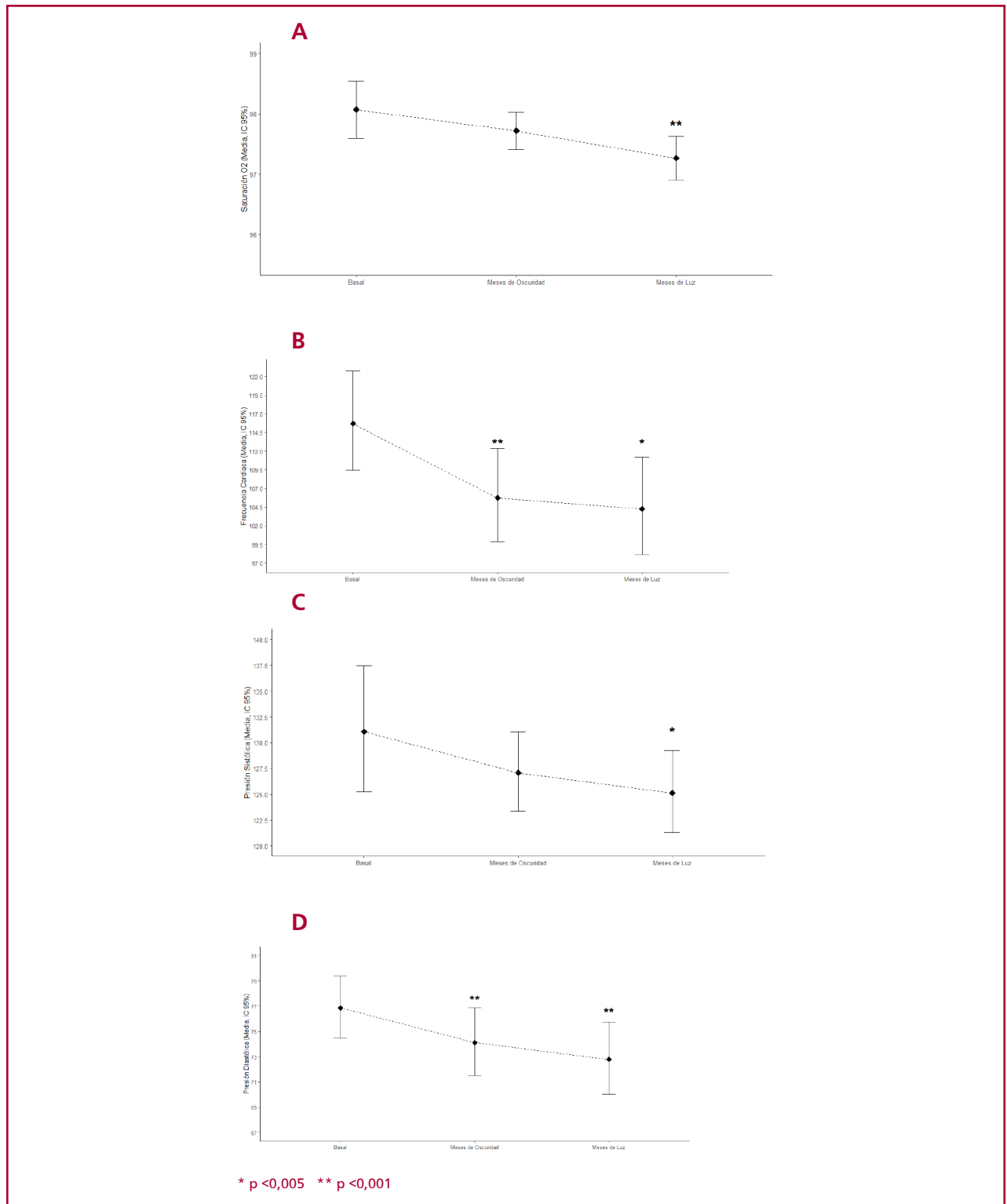
El aire en la Antártida se encuentra con menos aerosoles atmosféricos y con una composición química mucho más heterogénea y diversa que el continente, y podría justificar el menor impacto sobre la salud de la población en estudio.

Efecto entrenamiento

El ejercicio físico produce una reducción de la FC en reposo, que también se hace evidente durante el ejerci-

cio físico en individuos entrenados, cuando la preparación se realiza a intensidades submáximas, fenómeno directamente relacionado con el aumento del volumen latido.(20) Entre los mecanismos de la bradicardia, se encuentra en primer lugar la regulación del sistema nervioso autónomo con un aumento del tono vagal, pero también una disminución de la propia frecuencia intrínseca del corazón, variación de la sensibilidad de los barorreceptores, y el aumento del volumen sistólico.

Fig. 3. Ergometría: parámetros en la recuperación en las pruebas basal y de los meses de oscuridad y de luz



A. Saturación de O₂; B. Frecuencia cardíaca; C. Tensión arterial sistólica; D. Tensión arterial diastólica

Tabla 4. Análisis de los estudios ECG Holter

Holter	Basal	Meses de Oscuridad	Meses de Luz	p
Frecuencia cardíaca mínima	45,5 ± 10,3	42,0 ± 4,84	41,1 ± 4,17	0,012
Horario (hs)	5,56±0,76	5,91±0,79	5,62±0,69	
Frecuencia cardíaca máxima	126 ± 14,3	129 ± 17,0	131 ± 17,6	<0,001
Horario (hs)	13,27±1,44	12,84±1,13	13,63±1,01	
Frecuencia cardíaca diferencial	80,1 ± 19,1	86,6 ± 17,2	89,5 ± 16,7	
SDNN* (milisegundos)	155,0 ± 37,7	164,0 ± 38,7	177,0 ± 33,3	0,003

SDNN: desviación estándar de los intervalos RR

El entrenamiento regular reduce la actividad simpática en reposo, pero también disminuye la concentración plasmática de catecolaminas (en reposo y en ejercicio submáximo) y produce modificaciones en la homeostasis renal (disminución de las resistencias vasculares renales), todo lo cual contribuye a la reducción de la TA.

Los programas de ejercicio de alto componente dinámico disminuyen la TA tanto en adultos normotensos como en aquellos con hipertensión arterial. Este efecto es más acusado en pacientes hipertensos, con una reducción media de 6-7 mmHg. en las presiones sistólica y diastólica, frente a 3 mmHg. en normotensos. (21)

La población que se incorporó a nuestra investigación era previamente una población con alto entrenamiento físico, condición indispensable para ingresar al programa antártico. Fue seleccionada entre muchas otras razones por presentar una gran capacidad adaptativa al ejercicio.

Además, cuando se analizaron los parámetros corporales (peso, medición de cintura abdominal, composición corporal por impedanciometría) no se registraron diferencias durante la estadía en la Antártida y los parámetros basales. Por estos motivos no es probable que los resultados se encuentren influenciados por el efecto entrenamiento.

Aislamiento y estrés sostenido

La Antártida representa uno de los ambientes más desafiantes a la hora de trabajar. Además de la temperatura y el fotoperíodo extremo, las bases antárticas son lugares remotos y aislados que suelen estar habitados por muy pocas personas, configurando un escenario de relaciones interpersonales limitado junto con condiciones hostiles de confinamiento y aislamiento. (22,23)

Durante el período de 12 meses el grupo en estudio se encontraba aislado, con imposibilidad de contacto con el continente, inclusive ante una emergencia. Tanto la incertidumbre como el miedo generalizado se han descrito como un elemento negativo en cuanto a las consecuencias psicológicas se refiere. (24) Se plantea que el tiempo de aislamiento, sobre todo si es mayor a diez días, se torna un factor de riesgo importante de estrés postraumático, miedo, frustración, aburrimiento

y de síntomas de ansiedad y depresión, condiciones que pueden generar alteraciones cardiovasculares, como aumento de la FC y la TA. (25).

Contrariamente a lo esperable, los comportamientos de las variables cardiovasculares citadas tendieron a la reducción. Quizás el funcionamiento psicológico positivo pudo ser un posible factor de protección, la implementación de recursos saludables de las personas frente a situaciones adversas. (26)

El personal militar decidió personalmente participar de la expedición y vivir esta experiencia, conociendo los riesgos a lo que se enfrentaba, situación muy distinta a condiciones de aislamiento impuesto, como lo vivido en la época de la pandemia por COVID-19. (27)

Implicancias del estudio

Las implicancias de este estudio se extienden a numerosos ámbitos relacionados con la salud, el trabajo y la exploración espacial. Justamente, se reportó en astronautas en misiones del transbordador espacial una FC reducida y una TA baja. (28) El desacondicionamiento cardiovascular que se presenta en los vuelos espaciales incluye la disminución del volumen sanguíneo circulante, disminución de la presión arterial, un comportamiento muy similar a los hallazgos de nuestra investigación. (29)

En este sentido, contar con escenarios que permitan replicar, lo más rigurosamente posible, algunas de las características a las que se deberán enfrentar los astronautas es sumamente valioso, ya que representan contextos útiles para el avance de la ciencia espacial.

Los nuevos desafíos del área tienen como objetivo el establecimiento de bases permanentes en la Luna y en Marte, junto con la posibilidad de incorporar viajes turísticos para civiles no entrenados. Por lo tanto, los nuevos retos en torno a la exploración espacial requieren mayor profundización del conocimiento sobre la adaptación en diferentes poblaciones. (30)

Limitaciones

Las conclusiones se ven limitadas por diversos factores. El tamaño de la muestra es pequeño, aunque cabe destacar que los trabajos realizados en el Ártico o en la Antártida son de poblaciones con pocos individuos. No se dispone de una población control, lo cual es di-

ficultoso porque es casi imposible encontrar un grupo de personas que residan en las mismas condiciones de temperatura y a nivel del mar.

Otra limitación es la ausencia de parámetros fisiológicos, como por ejemplo la medición de melatonina, cortisol, noradrenalina, etc. Está contemplado implementarlas en una futura expedición.

CONCLUSIÓN

La Base Belgrano II sirvió como modelo para explorar el impacto del fotoperíodo extremo y el aislamiento en un área sin contaminación atmosférica sobre variables fisiológicas cardiovasculares. Los resultados indican que bajo estas condiciones se incrementa la actividad neurovegetativa. Futuras investigaciones se requieren para confirmar estos hallazgos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arendt J, Middleton B. Human seasonal and circadian studies in Antarctica (Halley, 75 degrees S). *Gen Comp Endocrinol* 2018;258:250-8. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2017.05.010>
- Kelly RM, Healy U, Sreenan S, McDermott JH, Coogan AN. Clocks in the clinic: circadian rhythms in health and disease. *Postgrad Med J* 2018;94:653-8. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2018-135719>
- Wang M. Generalized Estimating Equations in Longitudinal Data Analysis: A Review and Recent Developments. Hindawi Publishing Corporation *Advances in Statistics*. 2024 <https://doi.org/10.1155/2014/303728>
- Cui J. QIC program and model selection in GEE analyses. *The Stata Journal* 2007;7:209-20. <https://doi.org/10.1177/1536867X0700700205>
- Pekár S, Brabec M. Generalized estimating equations: A pragmatic and flexible approach to the marginal GLM modelling of correlated data in the behavioural sciences. *Wiley Ethology* 2018;124:86-93. <https://doi.org/10.1111/eth.12713>
- Riede SJ, van der Vinne V, Hut RA. The flexible clock: predictive and reactive homeostasis, energy balance and the circadian regulation of sleep-wake timing. *J Exp Biol* 2017;220(Pt 5):738-49. <https://doi.org/10.1242/jeb.130757>
- Maruff P, Snyder P, McStephen M, Collie A, Darby D. Cognitive deterioration associated with an expedition in an extreme desert environment. *Br J Sports Med* 2006;40:556-60. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.016204>
- Mairesse O, MacDonald-Nethercott E, Neu D, Tellez HF, Dessy E, Neyt X, et al. Preparing for Mars: human sleep and performance during a 13 month stay in Antarctica. *Sleep* 2019;42. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsy206>
- Nicolas M, Bishop SL, Weiss K, Gaudino M. Social, Occupational, and Cultural Adaptation During a 12-Month Wintering in Antarctica. *Aerosp Med Hum Perform* 2016;87:781-9. <https://doi.org/10.3357/AMHP4395.2016>
- Veloza L, Jiménez C, Quinones D, Polanía P, Pachón-Valero L, Rodríguez-Trivino C. Variabilidad de la frecuencia cardiaca como factor predictor de las enfermedades cardiovasculares. *Rev Colomb Cardiol* 2019;26:205-10. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2019.01.006>
- Collet G, Mairesse O, Cortoos A, Tellez HF, Neyt X, Peigneux P, et al. Altitude and seasonality impact on sleep in Antarctica. *Aerosp Med Hum Perform* 2015;86:392-6. <https://doi.org/10.3357/AMHP4159.2015>
- Cambras T, Castejón L, Díez-Noguera A. Social interaction with a rhythmic rat enhances the circadian pattern of the motor activity and temperature of LL-induced arrhythmic rats. *Physiol Behav* 2012;105:835-40. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.10.027>
- Bañeras J, Iglesias-Grau J, Téllez-Plaza M, Arrarte V, Báez-Ferrer N, Benito B, et al. Medio ambiente y salud cardiovascular: causas, consecuencias y oportunidades en prevención y tratamiento [Environment and cardiovascular health: causes, consequences and opportunities in prevention and treatment]. *Rev Esp Cardiol* 2022;75:1050-8. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2022.05.022>
- Rajagopalan S, Al-Kindi SG, Brook RD. Air Pollution and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol* 2018;72:2054-70. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.07.099>
- Rückerl R, Greven S, Ljungman P, Aalto P, Antoniadis C, Bellander T, et al; AIRGENE Study Group. Air pollution and inflammation (interleukin-6, C-reactive protein, fibrinogen) in myocardial infarction survivors. *Environ Health Perspect* 2007;115:1072-80. <https://doi.org/10.1289/ehp.10021>
- Perez CM, Hazari MS, Farraj AK. Role of autonomic reflex arcs in cardiovascular responses to air pollution exposure. *Cardiovasc Toxicol* 2015;15:69-78. <https://doi.org/10.1007/s12012-014-9272-0>
- Buteau S, Goldberg MS. A structured review of panel studies used to investigate associations between ambient air pollution and heart rate variability. *Environ Res* 2016;148:207-47. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.03.013>
- Riojas-Rodríguez H, Holguin F, González-Hermosillo A, Romieu I. Uso de la variabilidad de la frecuencia cardiaca como marcador de los efectos cardiovasculares asociados con la contaminación del aire. *Salud Publica Mex* 2006;48:348-57. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342006000400010>
- Kim JB, Kim C, Choi E, et al. Particulate air pollution induces arrhythmia via oxidative stress and calcium calmodulin kinase II activation. *Toxicol Appl Pharmacol* 2012;259:66-73. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2011.12.007>
- Corderoa A, Masia M, Galveb E. Ejercicio físico y salud. *Rev Esp Cardiol* 2014;67:748-53. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2014.04.007>
- Prior DL, La Gerche A. The athlete's heart. *Heart*. 2012;98:947-55. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2011-301329>
- Tortello C, Agostino PV, Folgueira A, Barbarito M, Cuiuli JM, Coll M, et al. Subjective time estimation in Antarctica: The impact of extreme environments and isolation on a time production task. *Neurosci Lett* 2020;725:134893. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.134893>
- Tortello C, Folgueira A, Nicolas M, Cuiuli JM, Cairoli G, Crippa V, et al. Coping with Antarctic demands: Psychological implications of isolation and confinement. *Stress Health* 2021;37:431-41. <https://doi.org/10.1002/smi.3006>
- Huarcaya V. Consideraciones sobre la salud mental en la pandemia de COVID-19. *Rev Perú Med Exp Salud Publica* [online]. 2020;37:327-34. <https://doi.org/10.17843/rpmpesp.2020.372.5419>
- Brooks SK, Webster RK, Smith LE, Woodland L, Wessely S, Greenberg N, et al. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: rapid review of the evidence. *Lancet* 2020;395:912-20. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8)
- Portela M, Machado M. Consecuencias psicológicas del aislamiento social y su vinculación con el funcionamiento psicológico positivo. *Act Psicol* 2022;36:72-87. <https://doi.org/10.15517/ap.v36i132.49584>
- Rubin GJ, Wessely S. The psychological effects of quarantining a city. *BMJ* 2020;368:m313. <https://doi.org/10.1136/bmj.m313>
- Garrett-Bakelman FE, Darshi M, Green SJ, Gur RC, Lin L, Macias BR, et al; The NASA Twins Study: A multidimensional analysis of a year-long human spaceflight. *Science* 2019;364(6436):eaau8650. <https://doi.org/10.1126/science.aau8650>
- Ade CJ, Broxterman RM, Charvat JM, Barstow TJ. Incidence Rate of Cardiovascular Disease End Points in the National Aeronautics and Space Administration Astronaut Corps. *J Am Heart Assoc* 2017;6:e005564. <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.005564>
- Carl JA. Incidence Rate of Cardiovascular Disease End Points in the National Aeronautics and Space Administration Astronaut Corps. *Journal of the American Heart Association* [Internet]. *AHA Journals Org* 2017;6. <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.005564>