

CAPÍTULO 15

La Antártida como modelo de desincronización biológica y análogo espacial

Daniel Eduardo Vigo

Laboratorio de Cronofisiología
Instituto de Investigaciones Biomédicas BIOMED (UCA-CONICET)

dvigo@conicet.gov.ar

336

Palabras clave: ritmos circadianos, sueño; rendimiento, aislamiento y confinamiento extremos, desincronización biológica, análogos espaciales.

Keywords: circadian rhythms, sleep; performance, extreme isolation and confinement, biological desynchronization, space analogs.

Resumen

Las condiciones extremas de aislamiento y confinamiento que caracterizan a las estaciones antárticas más aisladas, junto con la ausencia de luz natural que prevalece durante varios meses, las convierten en un modelo ideal para el estudio de fenómenos de desincronización biológica en humanos y para investigar diversos aspectos relacionadas con la exploración humana del espacio. Este capítulo presenta una descripción de los estudios científicos llevados a cabo desde 2014 en la base antártica argentina Belgrano II, centrándose en la investigación del impacto de la noche polar en diversas variables psicofisiológicas, así como en su utilización como análogo espacial.

Abstract

Antarctica as a model of biological desynchronization and space analogue.

The extreme conditions of isolation and confinement that characterize the most remote Antarctic stations, in addition to the permanent absence of daylight prevailing for several months, make them an ideal model for the study of human biological desynchronization and for investigating various aspects related to human space exploration. This chapter provides a description of scientific studies conducted since 2014 at the Argentine Antarctic station Belgrano II, focusing on the research of the impact of the polar night on various psychophysiological variables, as well as its use as a space analog.

LA CONOCIDA HISTORIA DE PHINEAS GAGE Y SU RELACIÓN CON LA NEUROCIENCIA

En 1848 ocurrió uno de los episodios más notables en la historia de la medicina. Durante una explosión controlada en la construcción del ferrocarril Rutland & Burlington en Vermont, Estados Unidos, una barra de hierro de más de un metro de longitud y alrededor de tres centímetros de diámetro fue lanzada accidentalmente, atravesando el cráneo de Phineas Gage, uno de los operarios de la línea. Sorprendentemente, Gage sobrevivió y pudo levantarse y caminar poco después del accidente, a pesar de que la barra de metal atravesó su lóbulo frontal izquierdo, la parte del cerebro encargada de funciones como el control del comportamiento y la emocionalidad. Con el tiempo, sus amigos y familiares notaron cambios significativos en su personalidad. Gage, quien era conocido por ser un hombre tranquilo, trabajador y confiable, se volvió impulsivo, irresponsable y emocionalmente inestable después del incidente. El médico John Harlow, quien trató a Gage después del accidente, fue uno de los primeros en documentar y analizar el caso. Sus observaciones y los informes posteriores sobre el comportamiento de Gage desempeñaron un papel crucial en la comprensión del cerebro y su relación con la personalidad y el comportamiento humano. A partir de la observación de las consecuencias de la lesión en una zona específica, pudo establecer una correlación con una función cerebral.

Desde entonces, muchas ramas de las neurociencias han avanzado gracias a poder establecer este tipo de asociaciones, las cuales se exploran tanto en modelos animales como en estudios observacionales de personas que han experimentado lesiones neurológicas, como fue el caso de Gage. Un área relevante dentro de las neurociencias se centra en el estudio de los ritmos biológicos, los cuales están regulados por áreas específicas del sistema neuroendocrino. Su importancia está dada porque, al igual que en una orquesta, no solo somos un conjunto de instrumentos, sino un conjunto de instrumentos que siguen un ritmo y ejecutan una pieza en forma sincronizada, y esto es fundamental para la vida

y para la salud. Seguramente, el ritmo biológico más evidente sea el del ciclo de actividad y descanso, etapas que, para la mayoría de las personas, suelen suceder durante el día y la noche, respectivamente. Para poder sincronizar nuestros ritmos con el ciclo de luz y oscuridad del planeta, necesitamos de un estímulo, que es proporcionado mayormente por la luz natural de las primeras horas de la mañana. Ahora bien, recordando la historia de Gage, surge una pregunta: ¿es posible contar con una “barra de metal cronobiológica” que nos permita desincronizar los ritmos biológicos de una persona, para investigar a fondo sus mecanismos de regulación? Claramente, no sería ético replicar experimentalmente en humanos una situación análoga a la que vivió Gage, es decir, no podemos, en forma ética, privar completamente y durante periodos muy prolongados a un grupo de sujetos de la exposición a la luz natural. ¿O sí?

UN MODELO DE DESINCRONIZACIÓN BIOLÓGICA

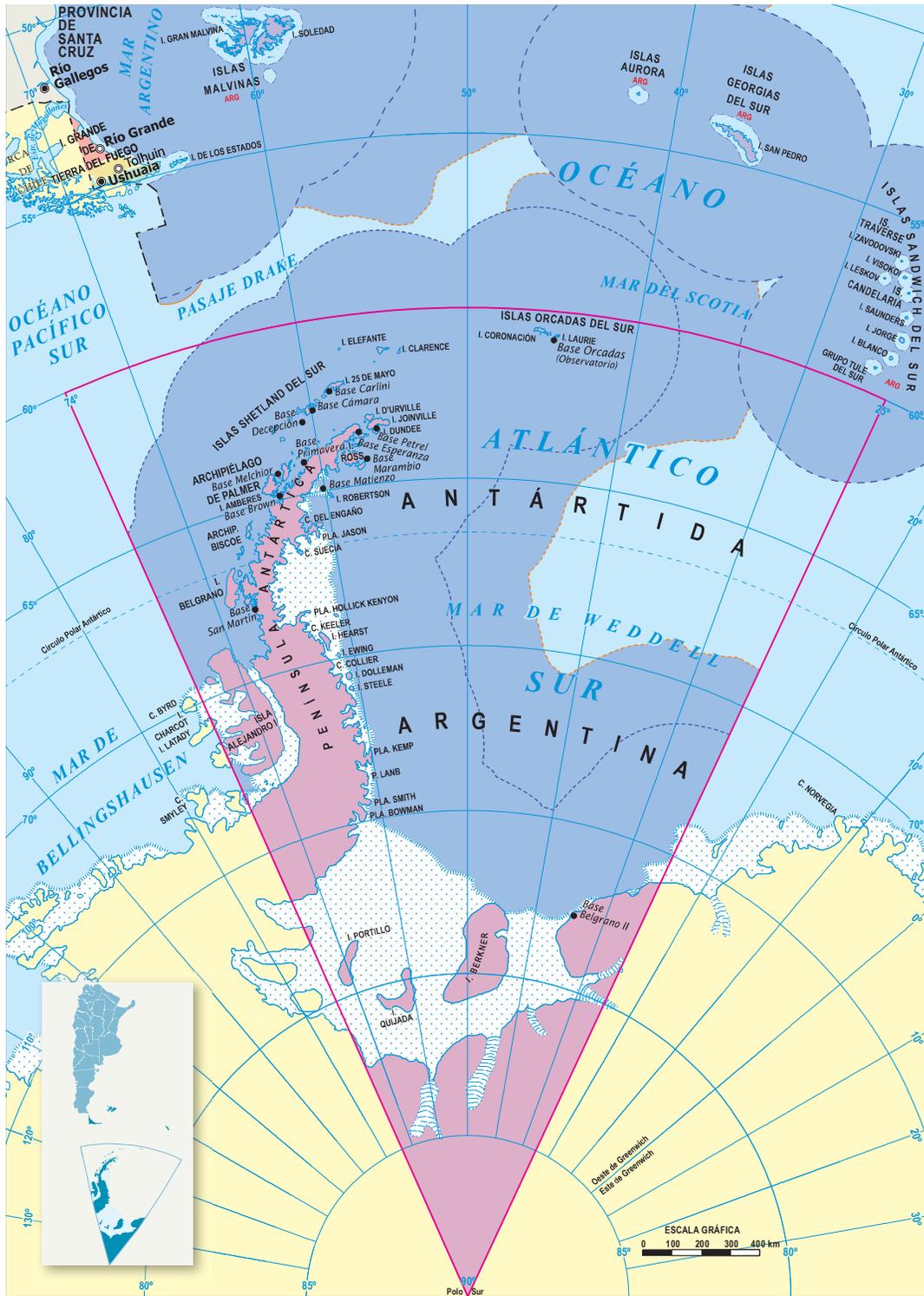
Lo hacemos anualmente. Los científicos y personal de apoyo que año tras año prestan servicio en las bases antárticas, eligen voluntariamente someterse a estas condiciones de privación de luz natural, sumadas a otras de confinamiento y aislamiento extremos. Las bases son centros de investigación estratégicamente ubicados en la Antártida, diseñados para facilitar y respaldar proyectos científicos en este entorno. Estas instalaciones proveen la infraestructura necesaria, alojamiento y suministros para equipos multidisciplinarios de científicos. Su función es fundamental para el desarrollo de la ciencia, ya que permiten estudios que van desde la geología y climatología hasta la biología marina y la astrofísica. Naturalmente, también se estudian los procesos de adaptación humana a este ambiente extremo y, en particular, cuál es el impacto de permanecer varios meses sin estar expuestos a la luz solar.

¿Cómo son las condiciones de luz y oscuridad en la Antártida? El fotoperiodo se refiere al número de horas de luz y oscuridad en un día. Es un fenómeno natural que varía a lo largo del año y está determinado por la órbita de la Tierra alrededor del Sol y de la inclinación de su eje de rotación. Durante los meses de invierno, que abarcan aproximadamente de abril a agosto, las bases más australes quedan sumidas en una oscuridad prácticamente total, fenómeno conocido como “noche polar”. Durante estos cuatro meses, la Antártida se encuentra inclinada en una posición tal que el sol no se eleva lo suficiente sobre el horizonte como para proporcionar luz diurna significativa. En su lugar, la región está sumergida en una penumbra constante, con una tenue luz crepuscular que apenas ilumina el paisaje.

La ausencia de un ciclo de luz y oscuridad claro puede desajustar nuestro reloj biológico interno, lo que puede llevar a trastornos del sueño. Las personas pueden experimentar dificultades para conciliar el sueño y para despertarse a la hora deseada. Además, la exposición limitada a la luz natural puede afectar el

estado de ánimo, contribuyendo a la aparición de síntomas de tristeza o depresión estacional. Algunas personas pueden experimentar dificultades en la toma de decisiones y en la realización de tareas complejas. Los ritmos circadianos también influyen en la regulación del apetito y el metabolismo. Durante la noche polar, es posible que las personas experimenten cambios en los patrones de alimentación y en la forma en que el cuerpo procesa los alimentos. Por último, la falta de luz natural puede dificultar la socialización con otras personas, lo que puede tener un impacto en las relaciones interpersonales. Para contrarrestar estos efectos, a veces se recurre a estrategias como la exposición a fuentes artificiales de luz brillante para ayudar a regular los ritmos circadianos.

Para el estudio de estos fenómenos, dentro de las bases antárticas argentinas, la base Belgrano II reviste un interés particular. La estación fue construida sobre afloramientos rocosos en 1979, sobre el nunatak Bertrab en la Tierra de Coats, a lo largo de la bahía Vahsel, costa Confin, a unos 1.300 km del Polo Sur ($77^{\circ}52'26''S$, $34^{\circ}37'40''O$) (Figura 1). Las temperaturas pueden descender por debajo de los $-35^{\circ}C$ durante el invierno. En esta latitud, hay cuatro meses de oscuridad casi completa (mayo a agosto), cuatro meses de luz diurna permanente (enero, febrero, noviembre y diciembre) y cuatro meses donde se alternan el día y la noche (marzo, abril, septiembre y octubre) (Figura 2). Aunque el periodo operativo es todo el año, la base, totalmente aislada, solo es accesible durante el período de verano entre mediados de diciembre y finales de febrero. El acceso se realiza a través de un vuelo en helicóptero de unos 30 minutos que despega del rompehielos A.R.A. "Almirante Irizar". Las instalaciones de la estación incluyen varios laboratorios científicos que conforman el "LABEL" (Laboratorio Antártico Multidisciplinario Belgrano II). La base también cuenta con un gimnasio y algunas instalaciones médicas con equipo y capacidad para cirugía básica. El número de miembros de la dotación suele ser de alrededor de 20, incluyendo a un médico asistido por un enfermero. En caso de emergencia, las oportunidades de rescate son extremadamente limitadas. Los principales programas científicos llevados a cabo en la estación son sobre astronomía, geodesia, meteorología, monitoreo de ozono, geofísica, sismografía, estudios del sistema solar, estudios de la atmósfera y, en el campo biomédico, cronobiología del aislamiento antártico. Los programas forman parte del "Plan Anual Antártico", siendo el Instituto Antártico Argentino el organismo que coordina y dirige las investigaciones y estudios de carácter técnico-científicos vinculados a las actividades antárticas argentinas. El sostén logístico, a cargo del Comando Conjunto Antártico, incluye el transporte de personal y cargas en el marco de la Campaña Antártica anual.



340

Figura 1. Ubicación de las bases antárticas argentinas. La base Belgrano II es la más cercana al polo sur. Fuente: IGN.



Figura 2. Fotoperiodo extremo en la base Belgrano II. Izquierda: medianoche en verano. Derecha: mediodía en invierno. Fotografías cedidas gentilmente por Juan Manuel López.

La investigación en Ciencias de la Vida (en humanos) en estaciones antárticas argentinas se remonta a los estudios pioneros de Marta Barbarito a finales de la década de 1990. En colaboración con el grupo liderado por Antonio Peri de Italia, describió diversos aspectos de la adaptación psicológica al continente blanco. En el mismo período, existe un artículo sobre cambios en el metabolismo óseo a lo largo de un invierno en la Base Belgrano II. En 2014, se lanzó el proyecto “Cronobiología del Aislamiento Antártico: utilizando la Base Belgrano II como Modelo para la Desincronización Biológica y Análogo Espacial”, liderado por el Laboratorio de Cronofisiología (Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Católica Argentina y CONICET) en colaboración con el Laboratorio de Cronobiología (Universidad Nacional de Quilmes), la Universidad de San Andrés, el Instituto Antártico Argentino, el Comando Conjunto Antártico, el Programa de Neurodefensa, dependiente de la Coordinación de Bienestar, y socios europeos y de Estados Unidos y Canadá. El objetivo general del proyecto, que aún está en curso, es evaluar el impacto cronobiológico de un año de aislamiento antártico en las dotaciones de la base Belgrano II.

A lo largo de estos años, hemos realizado diversas publicaciones que describen el impacto de la noche polar en variables psicofisiológicas de interés. Por ejemplo, hemos descrito el papel del sueño diurno durante los meses de oscuridad. Se sabía que, durante el invierno antártico, se produce un retraso de fase en la hora de acostarse (las personas se acuestan más tarde) en los miembros de las dotaciones antárticas. Nuestro grupo ha corroborado este resultado, añadiendo la observación de que aquellos que duermen siesta tienden a hacerlo de forma más prolongada durante estos meses. Estos cambios son congruentes con un retraso en el cronotipo (el momento del día en que una persona es más propensa a tener actividad), lo cual significa que las personas se vuelven más “nocturnas”, tal como también hemos reportado. Además, hemos descrito cambios sutiles en la estimación temporal, es decir, en la forma en que una persona puede valorar la duración de un evento (en nuestro caso, los miembros de la dotación debían replicar la duración de un estímulo que aparecía en la pantalla de una computadora). Por otro lado, hemos analizado aspectos psicológicos y dinámicas sociales, describiendo que, hacia el final del periodo de confinamiento, se observa una disminución en el uso de mecanismos de resolución de problemas maduros (en contraposición a los evitativos) y modificaciones en cómo las personas perciben el apoyo de sus compañeros y superiores.

UN ANÁLOGO ESPACIAL

Las condiciones hasta aquí descritas llevan a que las estaciones antárticas sean excelentes lugares para estudiar las condiciones de aislamiento y confinamiento extremo propias de los viajes espaciales, siendo reconocida en este sentido como un “análogos espaciales”. En lo referente a las consecuencias de la desincronización biológica, tanto para las misiones de la órbita terrestre baja, como para las futuras misiones a la Luna y Marte, el riesgo de disminución en

el rendimiento y alteraciones en el estado de salud producto de la pérdida de sueño, la desincronización circadiana y la sobrecarga de trabajo, es moderado y requiere mitigación. Este factor se puede estudiar, por supuesto, en las tripulaciones que habitan la Estación Espacial Internacional, donde el grado de realismo es máximo. Sin embargo, los costos, la logística y la presencia de otros factores, como la exposición a radiaciones y la microgravedad, atentan contra las conclusiones derivadas de estos estudios. En el otro extremo, encontramos los estudios de laboratorio, donde el investigador tiene control sobre las variables que estudia, pero el realismo es mínimo. Los estudios en las estaciones antárticas se encuentran en un excelente lugar intermedio, brindando cierto realismo respecto de las condiciones de asilamiento y confinamiento propias del espacio, al tiempo que los estudios que allí se realizan demandan costos y logísticas razonables. Así, las bases antárticas a menudo se utilizan como sitios de prueba para tecnologías y equipos que se utilizarían en misiones espaciales. Esto puede incluir trajes espaciales, sistemas de soporte de vida y otras tecnologías cruciales. El hecho de que muchas de las estaciones antárticas donde se realizan estudios de este tipo se encuentren ubicadas a altitudes cercanas o superiores a 3000 metros sobre el nivel del mar, donde la presencia de hipoxia hipobárica es un factor que modifica ciertas variables fisiológicas, es un punto relevante para considerar. Un ejemplo de esto es la base francoitaliana Concordia (ubicada a 3200 m.s.n.m.), donde la Agencia Espacial Europea (ESA) lleva a cabo estas investigaciones.

En este contexto, resulta interesante resaltar que, a pesar de estar tan aislada como Concordia (a la misma distancia del polo y compartiendo el mismo fotoperíodo), Belgrano II se encuentra a nivel del mar, lo que la convierte en un lugar propicio para llevar a cabo estudios comparativos con aquellos realizados en Concordia u otras estaciones ubicadas en altitudes elevadas. Dentro de este marco conceptual, la presencia ininterrumpida en la Antártida durante más de 100 años y los resultados científicos obtenidos han permitido establecer una colaboración entre Argentina y la ESA, con el objetivo de utilizar la Base Belgrano II como análogo espacial. Así, desde 2019 se han alcanzado varios acuerdos entre la ESA, la Dirección Nacional del Antártico (DNA), la Universidad Católica Argentina y la Agencia Espacial Argentina (CONAE) para llevar a cabo la actividad conjunta “Tempus Pro Antarctica”, consistente en una serie de pruebas para la validación operativa del sistema de telemedicina avanzada de la ESA “TEMPUS PRO”. Este dispositivo permite monitorear parámetros vitales como la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la frecuencia respiratoria y la temperatura, al tiempo que ofrece capacidades de ultrasonido, laringoscopia y electrocardiografía. La comunicación puede ser manejada a través de una conexión satelital segura o una red de internet. La primera validación operativa de este sistema consistió en una serie de pruebas realizadas en las Estaciones Antárticas Argentinas Belgrano II y Carlini durante la campaña antártica de invierno de 2020 (Figura 3). Una nueva fase del proyecto se llevó a cabo en 2022, ampliando el objetivo inicial para incluir el monitoreo del ejercicio de los miembros de la tripulación de invierno, la evaluación operativa de procedimientos para un dispositivo de imagen ocular basado en tabletas / teléfonos inteligentes y el

estudio de la ocurrencia de reacciones alérgicas como indicadores de estrés. En 2023, también se incluyeron actividades científicas relacionadas con el estudio de la percepción del tiempo y las interacciones sociales. Debido a los recursos limitados de la Estación Espacial Internacional y a la complejidad de llevar a cabo pruebas operativas y actividades científicas en el espacio, antes de intentarlas en vuelo, la ESA y en particular, el Centro Europeo de Astronautas (EAC) y el Centro Europeo de Investigación y Tecnología Espacial (ESTEC) utilizan una variedad de ‘análogos’ terrestres para probar ideas científicas y asegurarse de que las tecnologías estén listas para operar en el entorno espacial. En este sentido, el uso de la estación argentina Belgrano II tiene el potencial de complementar otros análogos espaciales ya bien establecidos.



Figura 3. Colaboración con la Agencia Espacial Europea. Izquierda: Dotación de la base Belgrano II perteneciente a la campaña invernal 2020 y científicos participantes a bordo del rompehielos A.R.A. “Almirante Irizar”. Derecha: Pruebas operativas del equipo Tempus-Pro en Belgrano II. Fotografías del autor.

EL VALOR DE LA CIENCIA EN ANTÁRTIDA

Los estudios mencionados sitúan al país como un referente en el grupo de naciones que investigan la adaptación humana a entornos de aislamiento y confinamiento extremos, conocidos como entornos “ICE” (por sus siglas en inglés), especialmente en los campos de la cronobiología y la psicofisiología. En relación con la exploración humana del espacio, se considera que la preparación del viaje a Marte se lleva a cabo en paralelo a través de sinergias entre la investigación científica y el avance tecnológico realizado en instalaciones análogas en la Tierra, lo que brinda una oportunidad para nuestro país de participar en este esfuerzo. Finalmente, la estrecha comunicación con la comunidad científica nacional e internacional, así como con la sociedad en general, permite colaborar en el apoyo de los intereses argentinos y en el mantenimiento de la paz en el continente antártico y contribuir al continuo reconocimiento de Argentina como un actor de peso en el ámbito antártico internacional.

AGRADECIMIENTOS

Camila Tortello y Santiago Plano (BIOMED, UCA-CONICET); Agustín Folgueira y Marcela Ovejero (Programa de Neurodefensa, Coordinación de Salud y Bienestar, Ministerio de Defensa); Diego Golombek (UNQui y UdeSA); Leandro Casiraghi (UdeSA); María Soledad Rivero y Edgar Calandín (Comando Conjunto Antártico); Juan Manuel Cuiuli (ex Comando Conjunto Antártico); Walter Mac Cormack y Estefanía Lozano (Instituto Antártico Argentino); Patricia Ortúzar (Dirección Nacional del Antártico); Marta Barbarito (ex Instituto Antártico Argentino); Guido Simonelli (Universidad de Montreal); Carole Dangoisse (Agencia Espacial Europea); Víctor Demaría - Pesce (ex Agencia Espacial Europea); autoridades pasadas de las instituciones participantes que apoyaron los estudios mencionados en este capítulo; médicos y enfermeros de las campañas 2014-2023 que los llevaron adelante; y miembros de la dotación que participaron como voluntarios.

345

Bibliografía

1. Barbarito M., Baldanza S., Peri A. Evolution of the coping strategies in an isolated group in an Antarctic base. Vol. 37, Polar Record. 2001. p. 111–20. <https://doi.org/10.1017/S0032247400026930>
2. European Space Agency. Terrae Novae 2030+ strategy roadmap. 2022. Disponible en: https://esamultimedia.esa.int/docs/HRE/Terrae_Novae_2030+strategy_roadmap.pdf

3. 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. Sleep, napping and alertness during an overwintering mission at Belgrano II Argentine Antarctic station. *Sci Rep.* 2019 Jul 26;9(1):10875. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46900-7>
4. From Antarctica to space: telemedicine at the limit. https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/From_Antarctica_to_space_telemedicine_at_the_limit
5. Oliveri B., Zeni S., Lorenzetti M. P., Aguilar G., Mautalen C. Effect of one year residence in Antarctica on bone mineral metabolism and body composition. *Eur J Clin Nutr.* 1999;53(2):88–91. [https://doi: 10.1038/sj.ejcn.1600681](https://doi:10.1038/sj.ejcn.1600681)
6. Peri A., Scarlata C., Barbarito M. Preliminary studies on the psychological adjustment in the Italian Antarctic summer campaigns. *Environ Behav.* 2000;32(1):72–83. [https://doi: 10.1177/00139160021972432](https://doi:10.1177/00139160021972432)
7. The council of managers of national Antarctic programs (COMNAP). Antarctic Station Catalogue. COMNAP Secretariat. Christchurch, New Zealand, 2017. Disponible en: https://www.comnap.aq/s/COMNAP_Antarctic_Station_Catalogue.pdf
8. Tortello C., Agostino P. V., Folgueira A., Barbarito M., Cuiuli J. M., Coll M., Golombek D., Plano S. A.*, Vigo DE. Subjective time estimation in Antarctica: The impact of extreme environments and isolation on a time production task. *Neuroscience Letters* 2020: 725 (23), 134893. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.134893>
9. Tortello C., Folgueira A., Lopez J. M., Didier Garnham F., Sala Lozano E., Rivero M. S., Simonelli G., Vigo D. E., Plano S. A. Chronotype delay and sleep disturbances shaped by the Antarctic polar night. *Sci Rep.* 2023 Sep 24;13(1):15957. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43102-0>
10. Tortello C., Folgueira A., Nicolas M., Cuiuli J. M., Cairoli G., Crippa V., Barbarito M., Abulafia C., Golombek D., Vigo D. E.*, Plano S. A. Coping with Antarctic demands: Psychological implications of isolation and confinement. *Stress and Health* 2020. <https://doi.org/10.1002/smi.3006>