

Cultivar Soberanía: Producción Hidropónica y Gobernanza Antártica

Cultivating Sovereignty: Hydroponic Production and Antarctic Governance

Alonso, Ignacio Agustín; Alves Rolo, Rodrigo Hernán; Birgi, Jorge Alberto; Díaz, Martín; Araujo Prado, Cesar Ismael y Cittadini, Eduardo Daniel

Ignacio Agustín Alonso

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina
alonso.ignacio@inta.gob.ar

Rodrigo Hernán Alves Rolo

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional de Hurlingham, Argentina
alvesrolo.rodrigo@inta.gob.ar

Jorge Alberto Birgi

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina
birgi.jorge@inta.gob.ar

Martín Díaz

Universidad Nacional de La Matanza y Escuela Electrónica de Defensa-Fuerza Aérea Argentina, Argentina
biomartindiaz@gmail.com

Cesar Ismael Araujo Prado

Comando Conjunto Antártico. División PREVAC, seguridad e Higiene y Ambiental Argentina
cesar.i.araujo.p@hotmail.com

Eduardo Daniel Cittadini

Centro Regional Patagonia Sur, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina
cittadini.eduardo@inta.gob.ar

Párrafos Geográficos

vol. 24, núm. 2, p. 97 - 119, 2025

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina

ISSN: 1853-9424

ISSN-E: 1666-5783

parrafosgeograficos@fhcs.unp.edu.ar

Recepción: 1 noviembre 2025

Aprobación: 1 diciembre 2025

Resumen: El trabajo analiza, desde una perspectiva geopolítica, cómo la colaboración entre instituciones argentinas como el INTA, la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, el Comando Conjunto Antártico y la Dirección Nacional del Antártico contribuye al desarrollo e implementación de un módulo antártico de producción hidropónica (MAPHI). Esta iniciativa, que permite la producción de hortalizas frescas en condiciones extremas, se inserta en el contexto geopolítico de gobernanza antártica. La investigación, basada en la revisión bibliográfica, el análisis documental y la sistematización de la experiencia, destaca que el proyecto no solo busca la autosuficiencia alimentaria, sino que también es una estrategia de diplomacia científica que legitima y fortalece la posición de Argentina en la gobernanza antártica, reforzando su presencia y destacándola a nivel regional e internacional por la implementación de innovación tecnológica en ambientes polares.

Palabras clave: Innovación Tecnológica; Bioseguridad Ambiental; Sector Antártico Argentino; Reclamos Territoriales; Coordinación Interestatal.

Abstract: This paper explores, from a geopolitical perspective, how collaboration between Argentine institutions such as INTA, The National University of Austral Patagonia, the Joint Antarctic Command, and the National Antarctic Directorate contributes to the development and implementation of MAPHI (Spanish acronym for Antarctic Modules of Hydroponic Production) in Antarctica. This initiative, which enables the production of fresh vegetables in extreme conditions, is situated within the geopolitical context of Antarctic governance. The research, based on a literature

review, documentary analysis, and experience systematization, highlights that the project not only aims for food self-sufficiency but also serves as a scientific diplomacy strategy that legitimizes and strengthens Argentina's position in Antarctic governance, reinforcing its presence and highlighting it at regional and international levels through the implementation of technological innovation in polar environments.

Keywords: Technological Innovation; Environmental Biosecurity; Argentine Antarctic Sector; Territorial Claims; Interstate Coordination.

Introducción

La realización de una actividad en el continente antártico implica numerosos desafíos, tales como las condiciones climáticas extremas, el aislamiento, las distancias y las regulaciones de un área geográfica con un sistema de gobierno particular (Ferrero Massa, 2023). La presencia ininterrumpida de Argentina en la Antártida desde 1904 requiere un gran esfuerzo logístico, especialmente en el abastecimiento de alimentos frescos (Villagra, 2017; Díaz *et al.*, 2024), principalmente debido a las grandes distancias, la perecibilidad y las condiciones climáticas. Esto ocasiona que el personal deba alimentarse por períodos prolongados solo con alimentos deshidratados, enlatados o supercongelados.

En este contexto, y en pos de generar estrategias que den solución a dicha situación, la hidroponía surge con el objeto de obtener hortalizas frescas *in situ*. Sin embargo, la implementación de este sistema de producción intensiva en la Antártida se encuentra regida por el Sistema del Tratado Antártico (STA) y sus normas ambientales, que exige la obtención de permisos especiales y el cumplimiento de rigurosas evaluaciones ambientales ante la prohibición de introducir especies no nativas.

Argentina es reclamante de soberanía y uno de los firmantes originales del Tratado Antártico, y mediante su política nacional antártica mantiene una actuación central en el STA. Desarrollar un proyecto de hidroponía en la región implica el compromiso y la responsabilidad de Argentina de cumplir con todos los requisitos ambientales, pero también le brinda la oportunidad de posicionarse como un actor relevante a través de avances científicos y tecnológicos, los cuales pueden ser compartidos o de interés para otros países miembros del STA.

El propósito de este estudio fue contextualizar y comprender las implicancias de la investigación y producción de alimentos en el territorio antártico, considerando el STA, la gobernanza

continental, y un eventual fortalecimiento de la posición de nuestro país, en conformidad con la Política Nacional Antártica.

Este trabajo examinó el proyecto del módulo antártico de producción hidropónica (MAPHI) en tres secciones; primero, el contexto de la gobernanza antártica; segundo, su implementación y tecnología y; tercero, sus implicancias geopolíticas para Argentina.

Contexto geopolítico y gobernanza

Historización: El Tratado Antártico y sus Principios

Para comprender la importancia del desarrollo tecnológico del cultivo hidropónico en Antártida en toda su magnitud es necesario analizarlo en una de las dimensiones más significativas y complejas, la geopolítica. Esta región del planeta, el área por debajo de los 60° de latitud Sur, posee, desde el punto de vista del cálculo territorial del poder, particularidades que no se observan en ningún otro sitio del mundo. El Tratado Antártico (TA), firmado el 1 de diciembre de 1959 por doce países (incluida Argentina) luego del Año Geofísico Internacional¹ (1957-1958), fue concebido para despolitizar la Antártida en plena Guerra Fría (Villamizar Lamus, 2024). Sus objetivos principales fueron asegurar el uso pacífico de la región, establecer un marco jurídico y promover la investigación científica. Por ello, el TA prohíbe actividades militares, fomenta la libertad de investigación y la cooperación. En vigor desde 1961², el TA cuenta hoy con 54 Estados Parte, de los cuales 29 son Partes Consultivas con voz y voto en las Reuniones Consultivas del Tratado Antártico (RCTA), donde se definen las normas que regulan las actividades antárticas.

El Tratado establece principios fundamentales que sustentan este sistema, tales como la prohibición de cualquier actividad de carácter militar (a excepción de aquellas orientadas al apoyo logístico de operaciones pacíficas), la eliminación de desechos radiactivos, la proscripción de explosiones nucleares (iniciativa originalmente impulsada por Argentina) y el compromiso con la protección ambiental. Asimismo, el artículo IV introduce una cláusula de salvaguardia respecto a los reclamos de soberanía territorial: mientras el Tratado permanezca vigente no podrán formularse nuevas reivindicaciones ni modificarse las existentes.

¹ El Año Geofísico Internacional (AGI) fue una investigación científica masiva y coordinada que involucró a más de 30.000 científicos de 67 países. La participación principal estuvo a cargo de doce países: siete de ellos con reclamos de soberanía en el continente (Argentina, Australia, Chile, Francia, Noruega, Nueva Zelanda y Reino Unido) y cinco sin tales reclamos (Bélgica, Estados Unidos, Japón, Sudáfrica y la Unión Soviética). Estos doce países son los mismos que firmaron en 1959 el Tratado Antártico

² Desde el 23 de junio de 1961 tras la ratificación parlamentaria de los Estados signatarios

Esta disposición, no obstante, no afecta la validez ni la posición jurídica de los reclamos efectuados previamente por los Estados parte. La Secretaría Permanente del Tratado Antártico se estableció en Buenos Aires en 2004, tras casi diez años de negociaciones, consolidando a la Argentina como un actor relevante en el STA.

El Sistema del Tratado Antártico

La firma y posterior puesta en vigencia del TA y sus principios fue desarrollando con el tiempo un conjunto complejo de actores que gobiernan y regulan las actividades dentro del área del tratado antártico, conocido hoy como Sistema del Tratado Antártico (STA). Este último es el conjunto normativo e institucional derivado del TA, incluyendo el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente (Protocolo de Madrid, 1991), clave para la protección integral (Zambrano Ramírez, 2021)³.

Además de lo normativo, el STA implica la creación de actores con distinto grado de participación y poder de decisión dentro del sistema. La gobernanza del STA se realiza mediante Reuniones Consultivas (RCTA) anuales, donde las decisiones se toman por consenso pleno entre las partes, con la participación de organismos asesores como el Comité Científico de Investigación Antártica (SCAR) y el Consejo de Administradores de Programas Antárticos Nacionales (COMNAP)⁴.

Reclamos de Soberanía

Siete países han formulado reclamos territoriales en la Antártida. Algunos de ellos son lindantes al continente Antártico, como Argentina, Australia, Chile y Nueva Zelanda, aunque también se encuentran países europeos: Francia, Noruega y Reino Unido.

Argentina fue el primer país en establecer una base científica permanente en la Antártida (la Base Orcadas, en 1904) y considera la región como una extensión natural de su provincia más austral: Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. El Sector Antártico Argentino se ubica entre el paralelo 60° Sur y los

³ Entre estos instrumentos complementarios se destacan tres acuerdos adoptados en el contexto de las Reuniones Consultivas del Tratado Antártico (RCTA): la Convención sobre la Conservación de Focas Antárticas (CCFA, 1972), la Convención sobre la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA, 1980) y el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, también conocido como Protocolo de Madrid (1991), junto a sus anexos.

⁴ También con la participación de organismos “expertos”, tales como la Organización Marítima Internacional (OMI), la Organización Meteorológica Mundial (WMO), la Asociación Internacional de Operadores Turísticos de la Antártida (IAATO) y la Coalición Antártica y del Océano Austral (ASOC), entre otros. Además, participan como observadores representantes de otros convenios ya mencionados, como por ejemplo la Convención sobre la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos.

meridianos 25° y 74° Oeste. El Reino Unido reclamó soberanía en 1908, basándose en su ocupación de las Islas Malvinas, lo que generó una superposición total con el reclamo argentino. En 1940, Chile también presentó su demanda, parcialmente coincidente con la de Argentina. Aunque desde 1947 ambos países reconocen mutuamente sus derechos sobre la Antártida, aún no se ha definido con precisión la zona compartida.

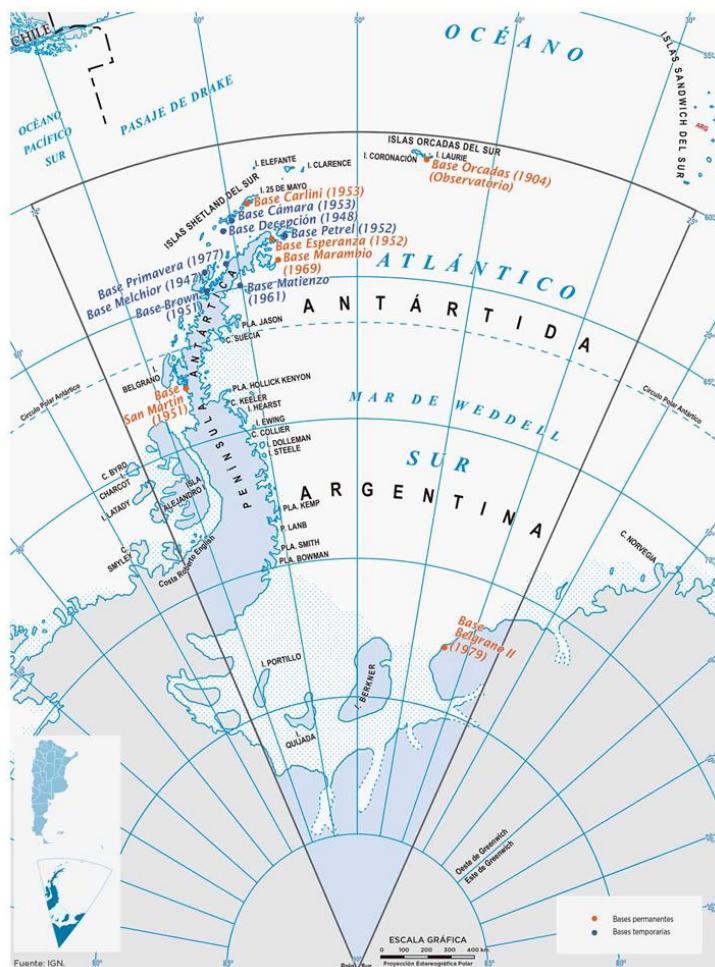


Figura 1

Ubicación de las bases argentinas en la Antártida.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN) - Atlas Geográfico Digital de Argentina (ANIDA) <https://anida.ign.gob.ar/>

Otros reclamos de soberanía se basan en exploraciones históricas: Francia en Tierra Adelia (1840), Noruega en las expediciones de Roald Amundsen (1911), y Australia y Nueva Zelanda en la acción británica del siglo XIX y principios del XX. El interés global y creciente sobre el continente blanco resulta evidente cuando se observa que, además de los siete Estados con presencia histórica ya mencionados, existen actualmente bases

permanentes y temporales de otros 35 países. La fase de los reclamos de soberanía fue sucedida por la instauración del Tratado Antártico y, posteriormente, por la etapa marcada por el Protocolo de Madrid y la incorporación de la dimensión ambiental.

Diplomacia Científica, Cooperación Internacional y Preservación Ambiental

Uno de los pilares de la gestión del continente antártico desde la firma del TA ha sido la cooperación científica internacional. En la actualidad, el trabajo colaborativo entre los países parte del STA continúa siendo uno de los ejes fundamentales de la actividad antártica. Las reuniones de expertos de COMNAP y los grupos de trabajos de SCAR son dos de las instancias donde de manera colaborativa los representantes de los distintos países comparten e intercambian sus desarrollos científicos y tecnológicos.

La diplomacia científica se ha convertido en un campo de gran interés y creciente producción académica en las últimas décadas, impulsada por la globalización del conocimiento, los desafíos transnacionales como el cambio climático y la necesidad de construir puentes entre ciencia, tecnología y política exterior. Gluckman *et al.* (2017) clasifican la diplomacia científica en categorías de acción para promover intereses nacionales, influir en normativas internacionales y facilitar la cooperación internacional. Así, el concepto abarca diversas dimensiones: la ciencia como herramienta de política exterior (*science for diplomacy*), la diplomacia que favorece la cooperación científica (*diplomacy for science*) y la ciencia en apoyo directo a la política exterior y la solución de problemas globales (*science in diplomacy*).

En América Latina, y en particular en Argentina, la diplomacia científica es también un ejemplo concreto de *soft power* (capacidad de un país para influir en otros a través de la atracción y la persuasión, en lugar de la coerción o la fuerza), donde el prestigio y la productividad de los equipos científicos nacionales pueden traducirse en capacidad efectiva para marcar la agenda global, definir normativas ambientales, participar en consorcios de investigación internacional y fortalecer la posición nacional en contextos estratégicos como el Atlántico Sur y la Antártida (Lofrano, 2023).

La Antártida ejemplifica como ningún otro territorio la potencia de la diplomacia científica: desde la firma del Tratado Antártico en 1959, la cooperación científica ha sido el motor de la gobernanza internacional en el continente (Calandín, 2024). El

tratado fomenta el intercambio abierto de datos, observaciones y personal científico entre las naciones firmantes.

Respecto a la protección del ambiente antártico, se debe tener en cuenta que no fue, al momento de su acuerdo, uno de los objetivos originales del TA. Sin embargo, una vez que entró en vigor en 1961, se acordó una serie de medidas bajo las disposiciones de su artículo IX (que prevé la creación de medidas tendientes a “la preservación y conservación de recursos vivos en la Antártida”) o en convenciones separadas, que enfocaron cuestiones como la protección de la flora y la fauna, la designación de áreas protegidas y el manejo de residuos y combustible, entre otros. Esta situación cambió cuando, a fines de la década de 1980, las Partes del Tratado Antártico negociaron el instrumento más importante para garantizar la protección integral de los valores ambientales de la Antártida: el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, conocido también como Protocolo de Madrid (en vigor desde 1998)⁵.

El Protocolo complementa y refuerza al Tratado Antártico para garantizar que la Antártida siga utilizándose exclusivamente para fines pacíficos y científicos, y no se convierta en escenario u objeto de discordia internacional. El Protocolo reconoce las oportunidades únicas que ofrece la Antártida para la observación científica y la investigación de procesos de alcance global y regional, así como la necesidad de la protección de sus valores de vida silvestre y estéticos. De esta manera, el Protocolo de Madrid designa a la Antártida como “reserva natural, consagrada a la paz y a la ciencia”, prohibiendo expresamente actividades relacionadas con los recursos minerales y estableciendo un sistema de evaluación ambiental y de solicitud de permisos para cualquier actividad que se realice sobre los recursos naturales del continente.

La Presencia Argentina en la Antártida

La presencia ininterrumpida de Argentina en la Antártida comenzó en 1904 con la ocupación de la estación meteorológica escocesa de William Speirs Bruce, que el Gobierno argentino aceptó y nombró Base Orcadas. Esta base simboliza el compromiso histórico y científico argentino en la región. No solo marca el inicio de la permanencia física ininterrumpida del Estado argentino en el sector antártico, sino que también refleja el compromiso sostenido con la investigación científica (meteorología, glaciología, geofísica, biología, entre otras) y la cooperación internacional, dada la

⁵ A la fecha, uno de sus anexos, acordado en 2005, sobre responsabilidad emanada de emergencias ambientales, aún no fue ratificado por todas las partes.

envergadura del esfuerzo logístico que implica el desarrollo temprano de investigaciones y la presencia permanente.

A lo largo del siglo XX y lo que va del XXI, este compromiso se ha traducido en la instalación de múltiples Bases Antárticas⁶, tanto permanentes (7) como temporarias (6)⁷.

La presencia continua de Argentina en la región y su condición de país con el mayor número de bases (siete permanentes y trece en total) son factores clave que respaldan su reclamo de soberanía, pero, en el marco del STA, actualmente la nueva forma de sustentar los legítimos derechos que nuestro país sostiene sobre la región implica un nuevo paradigma basado en el desarrollo científico y la protección del ambiente como valores más significativos. En este contexto de presencia argentina, la Ley 18.513/1969, estableció la Política Nacional Antártica. El decreto de aprobación de dicha ley menciona que el objetivo es afianzar los derechos argentinos de soberanía en la región. En función de ello, el decreto propone: “Fortalecer el Tratado Antártico y su Sistema”, “Incrementar la influencia argentina en el proceso de toma de decisiones del Tratado y de su Sistema” y “Promover la protección del medio ambiente antártico y de sus ecosistemas dependientes y asociados.”

Entre los desafíos más relevantes para la presencia en el sector antártico se encuentra el abastecimiento de las bases, incluyendo la provisión de alimentos. Dadas las condiciones extremas del entorno (Figura 2), se recurre predominantemente al uso de raciones deshidratadas, productos en conserva y alimentos ultracongelados, los cuales deben ser transportados y almacenados para su consumo por extensos períodos. Esta modalidad, si bien necesaria, afecta tanto la calidad nutricional como las propiedades organolépticas de los alimentos, repercutiendo especialmente en la calidad de vida del personal con estadías prolongadas, como las dotaciones permanentes que residen durante un año o más en las bases.

⁶ El Decreto N.º 368/2018 establece que todas las bases y refugios antárticos serán gestionadas en conjunto entre las distintas Fuerzas Armadas y la Dirección Nacional del Antártico, con el fin de optimizar los recursos y dependiendo orgánicamente del COCOANTAR. Las Fuerzas Armadas argentinas juegan un rol de apoyo logístico importante para la presencia nacional, al igual que sucede con las actividades de Chile y España, pero esto no sucede en todos los países, que en general mantienen una presencia civil.

⁷ Las permanentes son Orcadas (1904), San Martín (1951), Esperanza (1952), Petrel (1952), Carlini (1953), Marambio (1969) y Belgrano II (1979). Las temporarias son Melchior (1947), Decepción (1948), Brown (1951), Cámara (1953), Matienzo (1961) y Primavera (1977).



Figura 2

Base antártica Marambio luego de un temporal. Año 2022

Fuente: Elaboración propia

En este contexto, en 2015 la Dirección Nacional Antártica realizó una consulta al INTA sobre la viabilidad de producir hortalizas frescas en la Antártida mediante técnicas de hidroponía, lo cual derivó en el desarrollo del Módulo Antártico de Producción Hidropónica (MAPHI). El Proyecto MAPHI está atravesado por la Política Nacional para la Antártida y los objetivos para cumplimentarla, porque Argentina busca fortalecer y cumplir la normativa emanada del STA como una de las formas de sostener su reclamo soberano. Debido a que el cultivo de especies vegetales implica realizar una actividad prohibida por las normas vigentes en el continente antártico, este proyecto implicó el compromiso de Argentina de mostrar a las demás partes su capacidad de llevarlo adelante con los mayores estándares de bioseguridad con el fin de evitar cualquier evento potencial de liberación de Especies No Nativas (ENN).

Los resultados del proyecto han sido presentados en las RCTA y en la Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos (RAPAL), foro de coordinación a nivel latinoamericano de temas de orden científico, ambiental y logístico. Las presentaciones han generado consultas de los países

parte de ambos encuentros, lo que pone de relieve que el desarrollo producido por INTA posee características no observadas en desarrollos similares de otros países, como se expone en la segunda parte del presente trabajo.

El Desafío de Cultivar Especies No Nativas en Antártida

Todas las herramientas establecidas en el Protocolo de Madrid tuvieron como objetivo modificar la forma de llevar a cabo las actividades humanas en la Antártida, tales como la investigación científica y las operaciones logísticas. A lo largo de este camino, la concepción de la protección del continente fue adaptándose y adecuándose a los nuevos desafíos y problemáticas emergentes e incorporándose en las agendas gubernamentales y científicas en las últimas décadas. Este cambio se fue reflejando gradualmente en la forma de pensar y encarar dicha protección desde 1961, así como en las decisiones adoptadas y regulaciones establecidas en el marco del Tratado Antártico.

Las preocupaciones originales del Protocolo fueron la evaluación de impacto ambiental (Anexo I), la protección de la flora y fauna (Anexo II), la gestión de residuos (Anexo III), la prevención de la contaminación marina (Anexo IV) y la gestión de las áreas protegidas y sitios históricos (Anexo V). En la actualidad, la Antártida sufre el efecto de forzantes globales derivados del cambio climático, como el aumento de la temperatura, la pérdida de ozono y la acidificación del océano; y, a nivel local, la contaminación marina y terrestre, la introducción de especies no nativas y el aumento del turismo y la pesca.

El STA prohibió la introducción de especies no nativas (ENN) en la Antártida en 1964, mediante las *Medidas Acordadas para la Conservación de la Fauna y Flora Antártica*. Aunque esas medidas ya no están vigentes, la prohibición se mantiene desde la entrada en vigor del *Protocolo de Madrid*, y hoy esta práctica se considera una de las principales amenazas dentro de la gestión del STA.

Las zonas libres de hielo permanente y las islas subantárticas cercanas albergan una gran diversidad de aves marinas y especies terrestres, muchas de ellas endémicas y altamente adaptadas (Resolución 4/2016). En este marco, la llegada y establecimiento accidental de especies no nativas es una de las mayores amenazas para la biodiversidad antártica, afectando tanto a las especies locales como al funcionamiento de los ecosistemas. Esta situación se explica principalmente por dos factores:

1. **El cambio climático**, que en algunas regiones del continente se ha intensificado, favoreciendo la llegada y supervivencia de especies exóticas, fenómeno ya observado en las islas subantárticas.
2. **El incremento del tránsito humano**, especialmente a través de barcos y aviones utilizados para tareas logísticas, científicas o turísticas, que pueden transportar organismos o sus propágulos de manera involuntaria (McCarthy *et al.*, 2019).

Además de las complicaciones relacionadas con las condiciones climáticas donde el cultivo debe realizarse, se debe tener en cuenta que transportar a la Antártida semillas de especies no nativas para su cultivo es una actividad prohibida por el Anexo II del protocolo y, representa un gran riesgo para el continente. Es por ese motivo que el proyecto MAPHI debió atravesar los procedimientos establecidos en el Anexo I del Protocolo (Evaluaciones de Impacto Ambiental), por los cuales el Programa de Gestión Ambiental y Turismo (PGAyT) de la Dirección Nacional del Antártico (DNA) realizó la Evaluación Ambiental Preliminar del Proyecto para luego emitir una serie de recomendaciones en función de la normativa emitida en el STA para este tipo de actividad.

El proyecto debió gestionar ante el mismo organismo, el PGAyT, los permisos necesarios para el transporte y uso de las semillas en la Antártida. En este sentido es importante considerar que, bajo la gobernanza del STA, cualquier persona, sin importar su nacionalidad, que realice actividades en el continente antártico, puede solicitar las evaluaciones ambientales y las autorizaciones correspondientes para desarrollar una actividad prohibida. Asimismo, quienes lleven a cabo dichas acciones están obligados a presentar la documentación exigida para su control; el incumplimiento de estos requerimientos constituye una falta grave dentro del marco del STA.

Producción Hidropónica en la Antártida Argentina: El Caso del Proyecto MAPHI

La producción de cultivos en el continente antártico posee una larga trayectoria que se remonta al año 1902 (Bamsey *et al.*, 2015), cuando algunos ensayos de producción se realizaron de manera rudimentaria, aprovechando pequeños espacios iluminados en embarcaciones para lograr alimentos frescos, principalmente con la idea de combatir el escorbuto. Desde entonces, se han desarrollado al menos 46 experiencias documentadas, impulsadas por 13 países distintos, mediante el uso de invernaderos o

contenedores marítimos (Bamsey *et al.*, 2015). En los primeros años, muchas de estas iniciativas utilizaban suelo traído desde otros continentes, aunque algunas ya incorporaban tecnologías hidropónicas (Birgi *et al.*, 2022).

La entrada en vigor del Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente (Protocolo de Madrid), en 1998, introdujo nuevas restricciones que prohibieron el uso de suelos exógenos en el continente, lo que consolidó la hidroponía como técnica preferente para la producción vegetal. Desde entonces, únicamente nueve países han mantenido emprendimientos de producción de cultivos cumpliendo los requisitos del régimen antártico.

El clima en la región antártica es riguroso y el aislamiento de este entorno representa un importante desafío para lograr las condiciones necesarias para la supervivencia de los cultivos. En este contexto, la técnica hidropónica *indoor* se presenta como una solución tecnológica efectiva para el cultivo en ambientes extremos. Esta modalidad consiste en cultivar en espacios completamente artificiales, donde se suministran de forma controlada todos los recursos vitales para las plantas: luz, temperatura, agua y nutrientes. La hidroponía permite el crecimiento de cultivos sin suelo, en soluciones nutritivas, ofreciendo ventajas tales como mayor rendimiento por metro cuadrado, reducción en la incidencia de enfermedades del suelo, una elevada eficiencia en el uso del recurso hídrico (Birgi *et al.*, 2022) y control total de los deshechos generados durante el proceso productivo.

La calidad de vida en las bases antárticas depende de las condiciones de infraestructura y logística, que varían significativamente entre países y bases. A diferencia de operaciones con alta frecuencia de vuelos logísticos⁸, las bases argentinas, como Esperanza o la remota Belgrano II, enfrentan restricciones severas para la recepción de carga aérea y alimentos frescos, lo que afecta la calidad de vida del personal.

La solución argentina a los problemas de baja frecuencia en la entrega de alimentos frescos fue su producción *in situ*, a través de la construcción de los módulos MAPHI. Estos módulos tuvieron como objetivo mejorar la alimentación del personal a través de la producción de especies hortícolas de hoja con métodos de producción hidropónicos *indoor*⁹. En este sentido, la iniciativa

⁸ Países alejados del continente antártico, como Estados Unidos, poseen unidades específicas de transporte logístico para sus bases antárticas, como la 109.^a Ala de Transporte Aéreo, que puede realizar cerca de 80 vuelos logísticos en un año llevando combustible, alimentos y carga general. Esta alta frecuencia de vuelos logísticos posibilita al personal un acceso a alimentos frescos regularmente.

⁹ Otras experiencias de cultivo hidropónico en la Antártida están enfocadas en la investigación adaptativa para la colonización espacial, por ejemplo, de la Unión Europea: <https://eden-iss.net/>

buscó producir hortalizas en el lugar de consumo, lo que simplificó la logística y generó un impacto positivo en el personal, al reemplazar, al menos parcialmente, alimentos conservados con altos niveles de sodio y conservantes (Birgi *et al.*, 2022) por hortalizas frescas de alta calidad nutricional.

Desarrollo del MAPHI: Fases y Diseño del Proyecto

En este contexto, desde 2015, se puso en marcha el proyecto MAPHI, impulsado por investigadores de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santa Cruz del INTA, la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA), la Dirección Nacional del Antártico (DNA) y el Comando Conjunto Antártico (COCOANTAR). El proyecto tiene como propósito desarrollar sistemas de producción de cultivos frescos *in situ*, en condiciones controladas y mediante técnicas hidropónicas *indoor* (Birgi *et al.*, 2022).

El concepto de diseño de los módulos de producción se basó en premisas simples, pero de implementación compleja, dado el lugar y la dinámica de trabajo. La primera y más prioritaria de ellas fue que los módulos pudiesen ser operados por personas con bajo nivel de adiestramiento y sin conocimientos previos vinculados a la producción hortícola, focalizando en el personal del Comando Conjunto Antártico para la tarea de operación y mantenimiento de los módulos.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta fue la reutilización, el reciclaje y el acondicionamiento de materiales disponibles en los alrededores de la Base Marambio, lugar donde se montó el primer módulo de producción. En este sentido, el ejemplo más destacado fue la recuperación de los pallets con los que se instaló la primera pista de aterrizaje de la Base Marambio¹⁰. La disponibilidad *in situ*, la calidad de los materiales y sus medidas compatibles con el espacio designado para el primer módulo de producción, hicieron de esos pallets el corazón del MAPHI. Así, se pudieron reutilizar ocho unidades para el armado de los dos sectores de producción, adaptando el resto de los componentes a su montaje en o sobre los pallets de pista. Otra consideración que se tuvo en cuenta fue la optimización de los materiales enviados, donde, por ejemplo, las tiras de acero estructural se aprovecharon al 100 % en dos secciones, realizando un solo corte. La sección más larga se usó como columna del sector de producción y la más corta como

¹⁰ Estos *pallets*, fabricados en aluminio nervado, se utilizaron para armar la pista de aterrizaje de la base en sus inicios, pero debido a los movimientos naturales del permafrost en la isla se tuvieron que retirar del lugar por considerarlos inseguros, quedando inutilizados y sin posibilidad de retorno. El permafrost antártico es una capa de suelo, roca o sedimento que permanece congelada de manera permanente, es decir, durante al menos dos años consecutivos, y se encuentra en las regiones de la Antártida que no están cubiertas por glaciares o hielo permanente.

apoyo de la mesa de servicio, por lo que no se generaron residuos ni sobrantes al momento del aprovechamiento de este material.

Otros factores importantes al momento de definir la adaptabilidad de los MAPHI a las bases de destino fueron las condiciones climáticas del lugar, la infraestructura de pasarelas, la accesibilidad y la disponibilidad de servicios. Estas variables son especialmente importantes cuando ocurren tormentas de nieve o vientos que restringen el acceso al lugar, limitando las posibilidades de controlar el espacio. Si el MAPHI se encuentra próximo al alojamiento principal o en el interior de la base, se simplifica su operación y se disminuyen los riesgos, por lo que siempre es conveniente su implementación en bases con estas condiciones. Independientemente de la infraestructura que lo contenga, todos los MAPHI tuvieron el mismo tipo de protección, sistema de producción y compatibilidad con el sistema de monitoreo y control usando una triple capa aislante, dos sectores de producción con tres niveles cada uno, almacenamiento de agua, soluciones nutritivas y sistema de luces.

Por último, al diseñar el módulo, se tuvo en cuenta su posible uso futuro por productores frutihortícolas y otros sectores de la sociedad, procurando desarrollar una propuesta compatible con componentes más accesibles, en lugar de recurrir exclusivamente a los equipos de mayor calidad disponibles en el mercado. Esta es una diferencia sustancial de los MAPHI si se los compara con otros sistemas de producción instalados en la Antártida, ya que estos últimos generalmente buscan implementar la mejor tecnología disponible o probar componentes experimentales para evaluar su eficiencia dentro del sistema.

Tecnología del Módulo, Características del Entorno e Implementación

Los módulos MAPHI pueden proporcionar alimentos frescos derivados de la producción de especies hortícolas de hoja de dos formas principales. La primera es la verdura de hoja de ciclo completo (verduras grandes) y la segunda, más rápida, es la producción de *microgreens* (germinados), cuya ventaja radica en un ciclo de producción reducido de tan solo 15 días (la mitad del tiempo requerido por una planta de ciclo completo) (Birgi *et al.*, 2022), entregando un producto con mayor densidad nutricional (Xiao *et al.*, 2012) y contenido de proteínas digestibles: P (Fósforo), K (Potasio), Mg (Magnesio), Fe (Hierro), Mn (Manganoso) y Zn (Zinc) (Ayeni, 2021).

En términos tecnológicos de producción, el MAPHI se adaptó para su uso con luces de cultivo artificiales en ambientes reducidos. En este sentido, cabe recordar que, en esas latitudes, la luz solar es muy abundante (muy alto fotoperíodo) en verano, pero muy escasa en invierno, con lo cual el uso de luminarias de cultivo es indispensable si se pretende producir todo el año. Para subsanar este problema, los MAPHI se diseñaron para poder utilizar luces halógenas, LED PAR, LED de amplio espectro o una combinación de dos o más tipos de luces para generar las condiciones ideales de producción.

Con respecto al sistema productivo, el mismo consistió en dos sectores de producción con tres niveles cada uno. En cada nivel se emplazaron 12 cajones de producción de 10 litros de capacidad, con 4 perforaciones cada uno que permiten el anclaje de 4 plantas por cajón. Salvo MAPHI 3 (Base Belgrano II) cuya capacidad de producción es de 136 plantas adultas (cerca de un 43% menor), el resto de los módulos tiene la capacidad de producir 240 plantas adultas (4 plantas por cajón x 12 cajones por nivel x 5 niveles de producción). El sexto nivel de producción se utiliza para la producción de plantines y *microgreens*, contemplado la posibilidad de usar hasta 10 bandejas de 54,5 cm x 28 cm x 4 cm en cada tanda de producción.

Además, los MAPHI se instalaron con un sistema de telemetría basado en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), con sensores y actuadores de bajo costo. Éstos permiten monitorear y controlar de forma remota variables como la temperatura del aire, la humedad relativa, la temperatura y el caudal de la solución nutritiva, la disponibilidad de agua, la presencia de humo y llamas, el pH y la conductividad eléctrica de la solución, los niveles de dióxido de carbono y oxígeno disuelto y el consumo eléctrico, entre otros parámetros (Birgi *et al.*, 2022).

Los módulos MAPHI fueron diseñados y construidos como un traje a medida de la base de destino, debido a que cada base tiene una dinámica de trabajo y cantidad de personal diferente, distinta disponibilidad de infraestructura, espacio y vinculación con su entorno. Por ejemplo, mientras la Base Marambio se encuentra en una isla con escasa interacción con la fauna local, la Base Esperanza está ubicada en medio de una colonia de pingüinos Adelia, motivo por el cual, desde el punto de vista medioambiental, es preferible no generar nueva infraestructura sino reacondicionar la disponible, para evitar que se afecte el ecosistema local con nuevas construcciones.

El primer módulo MAPHI (Figura 3) fue instalado en 2017 en la Base Antártica Conjunta Marambio ($64^{\circ} 14' S$; $56^{\circ} 38' O$), operada por el COCOANTAR (Birgi *et al.*, 2022). Este lugar se

caracteriza por condiciones climáticas extremas y complejas, las temperaturas medias superficiales son muy bajas, con valores mensuales promedio de alrededor de -15°C en invierno, y hasta -2°C en verano, con precipitaciones escasas y fuertes vientos que persisten gran parte del año, pudiendo llegar fácilmente a los 90 km/h. En este módulo, la primera cosecha (Figura 4) se concretó el 4 de junio de 2022, tras importantes retrasos por la pandemia de Covid-19, que, por un lado, restringió el acceso del personal de INTA encargado de la calibración y puesta en marcha del sistema, y, por el otro, demoró los envíos de materiales y equipos para el avance de las obras vinculadas a la construcción de la estructura interna y de instalaciones.

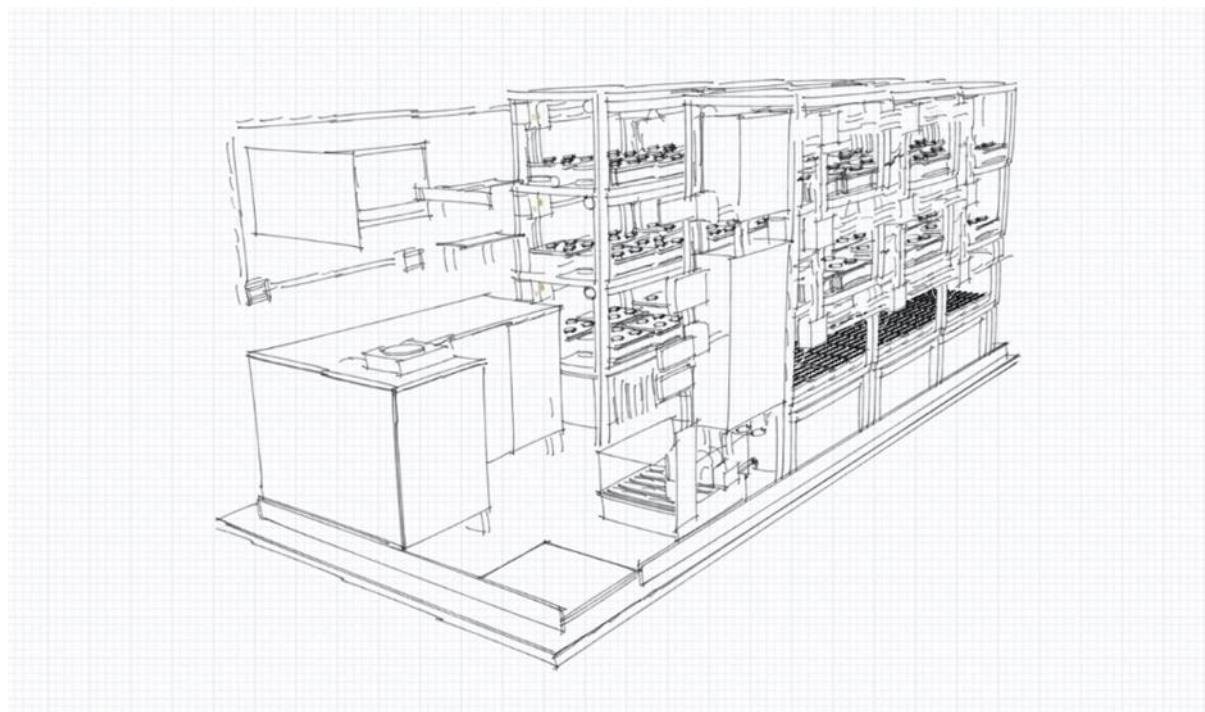


Figura 3
Boceto del Módulo Antártico de Producción Hidropónica
Fuente: Elaboración propia

El segundo módulo se implementó en 2023 en la Base Esperanza, una locación de mayor escala habitada por varias familias (más de 60 personas) y ubicada en el extremo noreste de la península, cercana a otras bases internacionales. Su montaje requirió de un equipo de más de diez personas y una logística de materiales compleja, ya que se utilizaron medios aéreos, como el Lockheed C-130 Hércules y los helicópteros Bell 212 de escuadrón Skua (para lograr el puente aéreo Marambio – Esperanza), pero también de medios navales como el rompehielos ARA Almirante

Irízar (Q-5). La primera cosecha de este módulo se realizó el 18 de marzo de 2023, luego de tres meses de intenso trabajo, en los cuales se realizaron la totalidad de las obras de montaje del sistema.



Figura 4

Primera producción del Módulo Antártico de Producción Hidropónica (MAPHI).

Fuente: Elaboración propia

Selección de Especies, Bioseguridad y Producción

Las especies seleccionadas para el cultivo inicial fueron evaluadas previamente en los laboratorios de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santa Cruz del INTA, donde se relevaron variables productivas y fisiológicas para entender cuales se adaptaban mejor al sistema y a la metodología de producción.

En la selección se priorizaron especies con baja o moderada resistencia al frío y con alta energía y poder germinativo, para evitar el deterioro prematuro de la semilla, que es uno de los principales insumos. Las especies elegidas fueron: lechuga (*Lactuca sativa* var. *Grand rapid*, *Lactuca sativa* var. *Maravillas de las cuatro estaciones*, *Lactuca sativa* var. *Crimor INTA*, *Lactuca sativa* var. *Red salad*, *Lactuca sativa* var. *Prizehead*), acelga (*Beta vulgaris* var. *Penca blanca*, *Beta vulgaris* var. *Sibilla*), albahaca (*Ocimum basilicum* var. *genovese gigante*, *Ocimum*

basilicum var. *Hoja ancha*), cilantro (*Coriandrum sativum* var. *Long standing*), perejil (*Petroselium crispum* var. *Común*), rúcula (*Eruca sativa* var. *Hoja redonda*, *Eruca sativa* var. *común*) y rabanito (*Raphanus sativus*).

Para su envío a la Antártida, el Laboratorio de Fitopatología de la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza del INTA elaboró protocolos para medir las principales variables vinculadas a la viabilidad del embrión en las semillas, además de determinar la presencia de microorganismos (hongos y bacterias) con y sin tratamiento desinfectante. Luego de este análisis, cada lote de semillas seleccionadas fue envasado dentro de una campana de flujo laminar en frascos de doble fondo, los cuales fueron identificados con un código QR y una etiqueta. Los frascos fueron sellados, embolsados y ordenados dentro de en un cajón de alto impacto, el cual a su vez fue precintado y etiquetado.

Cada MAPHI contó con dos responsables de la manipulación de las semillas al momento de la siembra. Para ello, con cada lote, los responsables retiraron las semillas del sector de cuarentena, ubicado en la mesada de servicio, sembraron las placas de espuma fenólica y devolvieron los contenedores a su lugar, evitando así que gente no preparada manipulara el recurso en condiciones que implicaran riesgos de diseminación, respetando así las Directrices para Minimizar los Riesgos de Especies No Autóctonas y Enfermedades Asociadas con Instalaciones Hidropónicas en la Antártida¹¹.

La operación del sistema fue diseñada para requerir una demanda semanal de tan solo cuatro horas de trabajo por parte de un operario. Si bien se capacitó a integrantes de la dotación para que asumieran el manejo del módulo (Birgi *et al.*, 2022), las principales dificultades encontradas en el proceso de implementación estuvieron asociadas al manejo humano del sistema relacionadas, por ejemplo, a la disponibilidad de horas hombre en momentos críticos del proceso de producción.

Durante la primera cosecha del proyecto MAPHI 1, el módulo logró producir 144 plantas de lechuga (con un peso medio de 108,2 g por planta) y 96 plantas de rúcula (con un peso medio de 45,4 g), totalizando 15,6 kg de lechuga y 4,4 kg de rúcula en fresco. Esta producción fue suficiente para abastecer a toda la dotación de la Base Marambio durante 4 comidas para más de 80 personas, con excedentes que fueron almacenados (Birgi *et al.*, 2022).

¹¹ Propuestas por Australia y Francia a la Reunión Consultiva del Tratado Antártico XXXV (ATCM XXXV, por sus siglas en inglés *The Antarctic Treaty Consultative Meeting*) en Hobart, Australia, año 2012.

Proyección Geopolítica: El Impacto del Proyecto MAPHI

La experiencia argentina en el desarrollo, la instalación y el mantenimiento de módulos antárticos de producción hidropónica (MAPHI) de pequeña escala en la Antártida constituye un hito tanto en el plano científico-técnico como en el geopolítico. El perfeccionamiento de la tecnología hidropónica en ambientes polares posiciona a la Argentina como referente regional e internacional en innovación adaptada a contextos bajo estrictas regulaciones ambientales, lo que podría derivar en la transferencia de conocimientos y cooperación científica con otros países signatarios del Sistema del Tratado Antártico (STA).

Esta iniciativa, impulsada por la articulación entre organismos nacionales como el INTA, la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, el Comando Conjunto Antártico y la Dirección Nacional del Antártico, no solo responde a la necesidad de abastecer de alimentos frescos al personal destacado en bases antárticas, sino que también fortalece la presencia efectiva y la proyección estratégica de Argentina en el continente blanco.

El Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Argentina como Estrategia de Construcción de Soberanía en la Antártida

La Antártida es uno de los paradigmas del éxito de la diplomacia científica, un espacio donde convergen la cooperación internacional, la investigación científica y la gobernanza global bajo el régimen del Tratado Antártico. La investigación científica sirve de criterio central para que un país acceda a la toma de decisiones en el Sistema del Tratado Antártico, lo que ha convertido a la ciencia en una herramienta diplomática fundamental. Las reuniones anuales de la RCTA (Reunión Consultiva del Tratado Antártico), el trabajo asesor de organismos como SCAR y COMNAP, y la constante generación de información científica de calidad, permiten a los países sostener o ganar influencia y liderazgo en la toma de decisiones internacionales vinculadas al continente y la protección de sus recursos y ecosistemas.

Los resultados productivos y técnicos alcanzados por el proyecto MAPHI (incluidos los parámetros ambientales registrados durante el cultivo) se ubicaron dentro de los rangos óptimos para especies como la lechuga, según la bibliografía especializada (Resh, 1997). Esto demuestra la factibilidad y la eficacia del sistema en un entorno completamente controlado, cumpliendo con los estándares establecidos en el Protocolo de Protección del Ambiente del Tratado Antártico. A nivel

internacional, de los nueve países que actualmente desarrollan cultivos en la Antártida, solo cuatro (Australia, Corea, Estados Unidos y Alemania) lo hacen mediante sistemas *indoor* a escala suficiente para abastecer a las dotaciones invernales (Bamsey *et al.*, 2015); el resto son solo experimentales.

En este contexto, la incorporación de Argentina a este reducido grupo de productores antárticos posiciona al país como un actor destacado en el desarrollo de tecnologías sustentables y adaptadas. Esto le ha permitido participar de la discusión de ciertos aspectos de la aplicación la tecnología hidropónica en Antártida como en la Reunión del Comité de Protección Ambiental (CPA) XXIII de París en 2021. En esa ocasión se discutió el uso de las aguas residuales para este tipo de cultivo (ATCM-CEP, 2021). El proyecto MAPHI no solo mejora la alimentación y las condiciones de vida del personal, sino que también refuerza la proyección geopolítica del país como líder en innovación científica y tecnológica en la región.

A nivel regional el Proyecto MAPHI fue presentado y discutido en distintas reuniones de gestión ambiental antártica mediante la presentación de documentos técnicos. En la Reunión XXXI de los Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos (RAPAL) realizada en Buenos Aires (Argentina) en 2020, se presentó en la Comisión de Asuntos Logísticos-Operativos (CAOL) el documento “Proyecto Módulo Antártico de Producción Hidropónica (MAPHI)”. Esta presentación permitió dar a conocer a los demás países de la región el proyecto. Un documento similar fue presentando para mostrar los avances del proyecto en la RAPAL XXXIII realizada en Ecuador en 2023, mediante un documento informativo para discusión en la Comisión de Asuntos Científicos, Ambientales y Técnicos (CACAT). En la última reunión, RAPAL XXXVI, Argentina presentó el documento “Hidroponía en la Antártida: alimento fresco, bienestar y sostenibilidad a costo bajo” en la CAOL. En cada una de estas presentaciones se realizó un intercambio con los países integrantes de este organismo. El desarrollo e implementación del proyecto MAPHI constituye una muestra del potencial de la ciencia y la tecnología argentina para afrontar desafíos complejos en territorios extremos como la Antártida. Su impacto se refleja en la mejora de la calidad de vida del personal y también en el fortalecimiento de la soberanía y el posicionamiento internacional argentino. Al integrar innovación técnica, sostenibilidad ambiental, eficiencia logística y bienestar humano, MAPHI se convierte en una experiencia pionera con capacidad de replicabilidad y un potencial de escalamiento que le permitiría

convertirse en el sistema alimentario más grande de la Antártida. En el futuro próximo, el Proyecto MAPHI se propone escalar para poder alcanzar a todas las bases antárticas permanentes de la Argentina y desarrollar nuevas adaptaciones tecnológicas que se adecúen a buques antárticos. En este sentido, el proyecto abre un camino fértil para seguir explorando soluciones tecnológicas que vinculen alimentación, ambiente, salud y soberanía, desde una perspectiva nacional y regional.

Desde una perspectiva geopolítica, la actividad científico-técnica orientada a la autosuficiencia alimentaria refuerza la legitimidad y la continuidad de la presencia argentina en la Antártida, aportando antecedentes concretos y contemporáneos al reclamo de soberanía. La capacidad de desarrollar soluciones innovadoras bajo las normativas del STA y el Protocolo de Madrid, cumpliendo con los más altos estándares de protección ambiental, permite a la Argentina consolidar su rol como actor responsable y comprometido con la gobernanza colectiva del continente.

El proyecto MAPHI representa para Argentina una expresión concreta de articulación interinstitucional y diplomacia científica, en la que el desarrollo tecnológico y la autosuficiencia alimentaria se convierten en argumentos contemporáneos para legitimar y fortalecer su posición en la gobernanza colectiva del continente. Al cumplir los estándares de bioseguridad y protección ambiental establecidos por el STA y el Protocolo de Madrid, Argentina no solo reafirma su compromiso con la preservación del ecosistema antártico, sino que también se posiciona como un actor responsable y de referencia en la gestión sustentable de la región. Así, la innovación científico-técnica aplicada al abastecimiento local de alimentos emerge como un pilar fundamental para la proyección estratégica y la defensa de los intereses nacionales en la Antártida.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Pablo Peri, Fabian Boyeras y Emiliano Olmedo por sus valiosas contribuciones y gestiones para este trabajo.

Referencias Bibliográficas

- ATCM-CEP (2021). Using treated wastewater for hydroponic cultivation of vegetables in the Antarctic. Disponible en: https://documents.ats.aq/ATCM43/ip/ATCM43_ip034_e.docx
- Ayeni, A. (2021). Nutrient Content of Micro/Baby-Green and Field-Grown Mature Foliage of Tropical Spinach (*Amaranthus* sp.) and

Roselle (Hibiscus sabdariffa L.). *Foods*, 10(11), 2546.
<https://doi.org/10.3390/foods10112546>

Bamsey M.T., Zabel, P., Zeidler, C., Gyimesi, D., Schubert, D., Kohlberg, E., Mengedoth, D., Rae, J. y Graham, T. (2015). Review of antarctic greenhouses and plant production facilities: A historical account of food plant on the ice. Proceedings 45th International Conference on Environmental Systems, 12-16 July 2015, Bellevue, Washington. ICES-2015-060, 36p.

Birgi, J. A., Gargaglione, V. B., Araujo Prado, C., Diaz, B. G., González, L., Gesto, E. G., Hallar, K.O. Laguia, D. O., Osiris, S. y Diaz, M. (2023). Módulo Antártico de Producción Hidropónica: primeros resultados del cultivo en la Antártida Argentina Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Secretaría de Ciencia y Tecnología; Informes Científicos Técnicos; 15; 3; 6-2023; 348-364
<https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v15.n3.993>

Birgi, J. A., Peri, P. L., Gargaglione, V. B., Araujo Prado, C., Diaz, B. G., Diaz, M., González, L., Gesto, E. G., Hallar, K.O. Laguia, D. O. y Osiris, S. (2022). Producción de vegetales en Base Antártica Conjunta Marambio Antártida Argentina. *IDIA XXI*, 2; 2; 55-62.

Calandín, E. F. (2024) La diplomacia científica en la Antártida, un nuevo orden. *Revista Iberoamericana de Derecho, Cultura y Ambiente*, 5.

Díaz, B. G., Birgi, J. A., Gargaglione, V., Araujo Prado, C. I., Peri, P. L., y El Kassis, Y. (2024). Calidad del agua para consumo humano y producción hidropónica en Bases Antárticas Conjuntas de Argentina. ICT-UNPA-364-2024 <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v16.n1.1096>

Ferrero Massa, P. A. (2023). El escenario Antártico. La Política Antártica Nacional y su estrategia (Trabajo Final de Licenciatura). Escuela Superior de Guerra Teniente General Luis María Campos.

Gluckman, P.D., Turekian, V, Grimes, R. W. y Kishi, T. (2017) Science Diplomacy: A Pragmatic Perspective from the Inside, *Science & Diplomacy*, 6(4).

Lofrano, C. (2023) Diplomacia científica: oportunidades para Argentina en el Atlántico Sur Occidental y la Antártida. Análisis de Política Internacional. Observatorio de Política Internacional. Centro de Estudios Estratégicos de Relaciones Internacionales Disponible en: https://www.ceeriglobal.org/wp-content/uploads/2023/09/API_Carla-Lofrano.docx.pdf

McCarthy, A. H., Peck, L. S., Hughes, K. A., y Aldridge, D. C. (2019). Antarctica: The final frontier for marine biological invasions. *Global Change Biology*, 25(7), 2221-2241.

- Parsons, R., Ulrich, R. S., y Tassinary, L. G. (1994). Experimental approaches to the study of people-plant relationships. *Journal of Home y Consumer Horticulture*, 1(4), 347-372.
- Resh, H. M. (1997) Cultivos hidropónicos nuevas técnicas de producción. Una guía completa de los métodos actuales de cultivo sin suelo. Para técnicos y agricultores profesionales, así como para los aficionados especializados. Madrid Mundi-Prensa.
- Thorp, A. (2012). Antarctica: the treaty system and territorial claims. *International Affairs and Defence Section, Library House of Commons*.
- Ulrich, R.S. y Parsons, R. (1992). Influences of passive experiences with plants on individual well-being and health. en D. Relf (Ed.) *The role of horticulture in human well-being and social development* (pp. 93-105). Timber Press.
- Villagra, G. A. (2017). *Evaluación nutricional del personal que desempeña sus funciones en campañas antárticas* (Doctoral dissertation, Universidad ISALUD).
- Villamizar Lamus, F. (2024) Protección ambiental antártica y derechos humanos en E. Prado Rubio y M. Fernández Rodríguez (Coord.) *El derecho como instrumento geopolítico* (pp.201-220). Editorial Dykinson.
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., y Wang, Q. (2012). Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of agricultural and Food Chemistry*, 60(31), 7644-7651.
- Zambrano Ramírez, P. (2021). El sistema del tratado antártico y la cuestión de la soberanía: ¿Es realmente un problema la ambigüedad del artículo IV? *Cuaderno De Trabajo*, (13), 1-18.