



Agencia
Nacional de
Investigación y
Desarrollo

Ministerio de Ciencia,
Tecnología,
Conocimiento e
Innovación

Guía Técnica

INSTITUTO ANTÁRTICO CHILENO

“Innovación en el Tratamiento de Aguas Residuales para Proteger el Ecosistema Polar”



Contenido

1. CONTEXTO DE LOS DESAFÍOS PÚBLICOS	3
2. ANTECEDENTES DE LA CONVOCATORIA PARA EL LANZAMIENTO DE LOS CONCURSOS DE DESAFÍOS PÚBLICOS	4
3. OBJETIVO Y RESULTADOS ESPERADOS	6
4. CONSIDERACIONES PARA EL ACCESO A LA SOLUCIÓN FINAL O TRANSFERENCIA Y MASIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS	8
5. DETALLE DE ETAPAS.....	9
6. RESUMEN DEL PROYECTO	15
7. ANEXOS	16



1. CONTEXTO DE LOS DESAFÍOS PÚBLICOS

Desafíos Públicos es un programa que apoya a organismos del Estado a encontrar soluciones a Desafíos de interés público que requieran Investigación, Desarrollo (I+D) y/o desarrollo tecnológico para ser resueltos y generar un impacto positivo en la dimensión económica, ambiental y social a nivel país. El programa es una manera de enfrentar problemas complejos que requieren aproximaciones transdisciplinarias y multisectoriales para ser abordados íntegramente. Desde un rol coordinador, el Estado fomenta activamente el desarrollo tecnológico e innovación orientados a dar solución a los Desafíos públicos que el país presenta y que afectan a su población, ya sea a nivel local, regional o nacional.

Por medio de una metodología de Desafíos, el programa busca desarrollar soluciones a problemas de interés público en ámbitos de acción de organismos públicos mediante Concursos de Innovación Abierta para emprendedoras/es, Startups, equipos universitarios, empresas, entre otros. Cada concurso financia una carrera de desarrollo de prototipos para lograr una aplicación industrial lista para implementar y que el Organismo Público pueda adquirir.

El programa es gestionado en conjunto por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (MinCiencia), el Laboratorio de Gobierno del Ministerio de Hacienda (LabGob) y la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID).

El presente instrumento busca contribuir a encontrar soluciones innovadoras a problemas de interés público que requieran de un desarrollo tecnológico e innovación, conectando a quienes demandan estas soluciones, en este caso el Instituto Antártico Chileno con potenciales oferentes provenientes del sistema nacional de innovación.

En particular, el problema de interés público que se requiere resolver se denomina Desafío Antártico: Innovación en el Tratamiento de Aguas Servidas para Proteger el Ecosistema Polar cuyo objetivo es contribuir a la disminución del impacto humano respecto de la descarga de aguas grises y aguas negras en el medio ambiente antártico, cumpliendo con los compromisos que tiene Chile en materia nacional e internacional respecto de la preservación y protección de la Antártica.

La función de esta Guía Técnica es orientar a las personas usuarias en la elaboración de su postulación a la convocatoria de Desafíos Públicos 2025: Desafío Antártico: Innovación en el Tratamiento de Aguas Servidas para Proteger el Ecosistema Polar, entregando información relevante para ser utilizada en la formulación.

En conjunto con esta Guía Técnica, se acompañarán las Bases del instrumento “**Desafíos Públicos 2025**” y que contienen todas las directrices y normativas respecto del proceso de postulación, admisibilidad, evaluación, seguimiento, cierre de los proyectos y temas administrativos que no forman parte de la Guía Técnica.

2. ANTECEDENTES DE LA CONVOCATORIA PARA EL LANZAMIENTO DE LOS CONCURSOS DE DESAFÍOS PÚBLICOS

Descripción de la situación pública que genera el problema/Desafío a resolver y su estado del arte en Chile.

La actual planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) disponible en la Base Profesor Julio Escudero del Instituto Antártico Chileno (ver documento adjunto sobre el Manual del Usuario de la Planta Anexo 1), emplazada en la Isla Rey Jorge (Islas Shetland del Sur, Península Antártica, Territorio Chileno Antártico) no fue diseñada para un ambiente polar, producto de la reposición de emergencia que se realizó en el año 2019 al perderse la antigua planta producto de un incendio. Esto resultó en el incumplimiento de la normativa chilena respecto de los requerimientos ambientales del territorio. Al tiempo se logró observar que su diseño no se logra adaptar a la estacionalidad ni a la eliminación de contaminantes emergentes. Por lo tanto, se requiere de innovación tecnológica adaptada para asegurar operación eficiente y cumplimiento normativo a nivel nacional e internacional. Además, se ha observado que la PTAS no logra responder a la variación de carga que se presenta por la diferencia en la ocupación de la base a lo largo de cada temporada; como tampoco es eficaz frente a la fluctuación de uso/demanda que se presenta a lo largo del año (muchas personas en verano y muy pocas en invierno); finalmente no es capaz de depurar contaminantes emergentes (sustancias químicas) como fármacos, hormonas y microplásticos. Este funcionamiento deficiente nos expone a presentar una descarga al cuerpo receptor, por un lado, excediendo los límites máximos permisibles establecidos en la normativa chilena, incumpliendo el DS 90/2000 (MINSAL) y, por otro lado, liberando elementos que si bien aún no están regulados en la legislación nacional, contribuyen a la contaminación del ambiente antártico y sus ecosistemas asociados.

Este caso se presenta de forma similar en otras Bases, campamentos y refugios ubicados en el continente antártico, y representa un desafío tanto para el desarrollo de la actividad científica nacional, como para otros países que se desempeñan en similares condiciones.

De esta manera, las PTAS en la Antártica enfrentan dificultades debido a las condiciones extremas del entorno y al aislamiento geográfico, lo que afecta su eficacia operativa en el cumplimiento de normas ambientales y su capacidad para eliminar nuevos contaminantes, los denominados contaminantes emergentes. Además, la normativa nacional establece parámetros de funcionamiento que pueden ser difíciles de validar en este contexto. La falta de PTAS en la Antártica genera un problema ambiental y sanitario significativo que puede contravenir acuerdos internacionales firmados por nuestro país. Las bases antárticas que operan en el continente antártico producen aguas residuales que, en muchos casos, no pueden ser tratadas adecuadamente debido a la ausencia de infraestructura adaptada a las condiciones extremas. Esto provoca contaminación en el entorno, afectando los ecosistemas frágiles de la región. Diversos factores pueden afectar su funcionamiento, como las bajas temperaturas y la presencia de hielo, dificultando ambas el funcionamiento de sistemas convencionales de tratamiento de aguas. Por otra parte, la falta de tecnologías adaptadas para eliminar ciertos contaminantes emergentes limita la operatividad eficiente en el clima antártico. Las normativas insuficientes producto de la regulación nacional no contemplan adecuadamente las particularidades de la Antártica, lo que impide validar los parámetros de funcionamiento de las plantas existentes, como por ejemplo análisis microbiológicos en laboratorios certificados. También las limitaciones logísticas son un factor importante ya que transportar materiales y equipos para construir y mantener plantas de tratamiento en la Antártica es costoso y complejo.

Las consecuencias de este problema son la generación de un impacto ambiental provocado por la contaminación de aguas que puede afectar la biodiversidad única de la región. Riesgos sanitarios producto de la acumulación de aguas servidas sin tratamiento adecuado puede generar problemas de salud para quienes trabajan en las bases. No cumplir las normas por falta de adaptación a la normativa nacional que dificulta la implementación de soluciones efectivas.

Las principales personas afectadas por este problema son el personal que trabaja en las bases y



dependen de un ambiente saludable para su permanencia en cortas y largas estadías. Los encargados de la operación y mantenimiento de las bases, pueden enfrentar riesgos sanitarios producto del mal funcionamiento. En el contexto internacional la imagen del país puede verse seriamente afectada a nivel del tratado si la base llegase a ser inspeccionada y no cumple las normativas.

- Descripción del problema/Desafío, justificando la necesidad de resolverlo a través del programa Desafíos Públicos.

Chile ha avanzado en el tratamiento de aguas residuales, pero aún enfrenta desafíos en el reúso de aguas tratadas y en la gestión de residuos en zonas extremas. Existen estudios y experiencias sobre el uso de lodos de plantas de tratamiento como fertilizantes y sobre la valorización de residuos. Sin embargo, la implementación de tecnologías adaptadas a la Antártica sigue siendo un desafío pendiente. Si bien existen casos de aplicación de tecnologías por parte de ciertos países desarrollados como Inglaterra o Australia, estas no están en etapa comercial.

El principal desafío es desarrollar un sistema de tratamiento de aguas servidas que sea eficaz en condiciones extremas, cumpla con la normativa nacional e internacional y minimice el impacto ambiental. Esto requiere innovación tecnológica, inversión en infraestructura y una revisión de las regulaciones existentes. La creación de esta tecnología permitirá a nuestro país cumplir con sus compromisos ambientales.

- Descripción de cómo se enfrenta en la actualidad el problema.

El tratamiento de aguas servidas es un desafío crucial para garantizar la protección del medio ambiente y la salud pública. En la actualidad, diversas soluciones tecnológicas han sido implementadas para abordar esta problemática, adaptándose a las necesidades específicas de cada ubicación y volumen de residuos generados. Según la encuesta aplicada, y otros antecedentes recopilados se pudo conocer que hoy en día, se utilizan los siguientes sistemas de tratamiento de aguas servidas:

- Tratamiento biológico:** Aprovecha microorganismos para degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales.
- Plantas de tratamiento con reactor biológico:** Incorporan bombas multicut y tratamiento de lodos con polielectrolitos para optimizar el proceso de depuración (Base Escudero y Base Prat).
- Sistema Tohá:** que utiliza lombrices distintos estratos filtrantes para depurar el agua de manera eficiente y sustentable (Base Presidente Frei de la FACH)
- OMNIPURE y otros:** Variantes utilizadas en distintas bases que combinan filtración y procesos de oxidación (Base O'Higgins).
- Sistema MBR (Membrane Bioreactor):** Tecnología avanzada que emplea membranas para mejorar la eficiencia del tratamiento.
- Plantas sépticas Roth y sistemas de pretratamiento y tratamiento primario:** Métodos utilizados en localidades con menor disponibilidad de infraestructura.

Descripción de la Experiencia internacional sobre cómo abordan la problemática identificada.

En la actualidad, las mejoras tecnológicas más exitosas son la nanofiltración y la ósmosis inversa, así como los reactores biológicos de membrana. El rendimiento de estas tecnologías para la eliminación de contaminantes emergentes es muy bueno para los diferentes tipos de microcontaminantes. Por otro lado, las tecnologías con la menor cobertura son tecnologías recientes como la electroquímica y la oxidación basada en plasma, que han presentado prometedores resultados a escala de laboratorio y en reactores con bajos volúmenes.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales liberan microplásticos en hábitats terrestres y acuáticos, principalmente de las industrias textil, lavandería y cosmética. A pesar de la amplia investigación sobre los microplásticos en el medio ambiente, se sabe poco sobre su eliminación, destino y el comportamiento de los mismos durante los diversos procesos de tratamiento. Las tecnologías probadas principalmente son el biorreactor de membrana (MBR), la electrocoagulación, la técnica sol-gel, la flotación, el filtrado mejorado y los Procesos Avanzados de Oxidación (AOP, por su sigla en inglés) se evalúan para la eliminación de microplásticos. Los MBR pueden eliminar el 99,9%



de los microplásticos de manera más eficiente que otros enfoques. Sin embargo, los sistemas MBR requieren limpieza de membranas y control de incrustaciones, lo que aumenta los costos operativos y de capital.

A pesar de que la microfiltración y MBR son actualizaciones tecnológicas importantes, no son las más eficientes en términos de remoción de contaminantes emergentes. De hecho, la categoría de microfiltración, que engloba la micro y ultrafiltración, es ineficiente frente a los microcontaminantes orgánicos, aunque depura bien contaminantes que pertenecen a categorías de muy relevantes, como los microorganismos (bacterias resistentes a los antibióticos) o los sólidos en suspensión (por ejemplo, los microplásticos). En general, los MBR se comportan igual de bien para los diferentes tipos de categorías de contaminantes emergentes (compuestos orgánicos, de partículas y de microorganismos), pero no es la tecnología de eliminación más eficiente en ninguna de las categorías individuales. Sin embargo, se seleccionó la microfiltración y el MBR en lugar de las tecnologías que eliminan mejor los microcontaminantes (nanofiltración/ósmosis inversa, carbón activado u ozonización) por estar más equilibrados con otras dimensiones (con respecto a las limitaciones del escenario y ofrecer una capacidad de escalado adecuada). En la actualidad, ninguna mejora tecnológica existente ofrece una solución ideal para los diferentes factores que dan forma a la toma de decisiones de inversión. Estos antecedentes presentan la necesidad de mejorar las tecnologías de tratamiento de aguas residuales para alcanzar los rendimientos de depuración requeridos, una operatividad que compatibilice con la realidad y eficiencia en términos del uso de la energía.

La tendencia actual de investigación y desarrollo busca opciones de actualización en forma de sistemas de tratamiento híbridos, que fusionan tecnologías con el objetivo de crear efectos de sinergias que mejoren la eliminación eficiente de microcontaminantes (por ejemplo, combinación de MBR con procesos avanzados de oxidación, electroquímica o filtración de carbón activado).

Por último, las soluciones basadas en la naturaleza (Nature-based solutions (NBS), por sus siglas en inglés) son enfoques que aprovechan los procesos naturales para abordar desafíos ambientales, sociales y económicos. Incluyen acciones como la restauración de humedales, la conservación de bosques y la gestión de cuencas hidrográficas para mejorar la biodiversidad, la calidad del agua y mitigar el cambio climático. En el caso de las plantas de tratamiento de aguas residuales, las NBS pueden desempeñar un papel fundamental para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad. Por ejemplo, los humedales construidos pueden utilizarse para tratar el agua residual de manera natural, reduciendo la dependencia de métodos de tratamiento intensivos en energía. Asimismo, la infraestructura verde, como las zonas de amortiguamiento vegetadas, puede ayudar a filtrar contaminantes antes de que lleguen a los cuerpos de agua. Sin embargo, estas metodologías todavía están muy inmaduras y se ha visto que no tienen una alta remoción de contaminantes emergentes y difícilmente se podrían aplicar en la Antártica.

3. OBJETIVO Y RESULTADOS ESPERADOS

El objetivo general de la convocatoria enmarcado en el instrumento Desafíos Públicos es: Desarrollar un sistema de tratamiento de aguas residuales que sea adaptable y eficaz, de acuerdo a la normativa chilena y que opere en condiciones polares extremas, reduciendo el impacto ambiental y sanitario en una de las bases administradas por INACH.

El resultado global esperado es la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales que pueda ser validado en su entorno real, y que asegure la eliminación eficiente de aguas grises y negras en la Antártica, cumpliendo con los estándares normativos y que cuente con operación autónoma, versátil y de bajo impacto ambiental. A través de tecnologías avanzadas propuestas, se minimizará la descarga de aguas residuales al entorno natural, favoreciendo la protección del ecosistema antártico.



Se espera que las soluciones tecnológicas tengan los siguientes atributos que permita abordar el Desafío:

1. SIMPLE

Considerando que aspectos logísticos como la falta de personal calificado y el transporte, presentan cierta complejidad en un territorio alejado como es la Antártica, se espera que su diseño y funcionamiento debe ser de fácil manejo, pero con un sistema de control avanzado, de simple operación, mantenimiento, reparación y de repuestos accesibles, en caso de falla.

2. VERSÁTIL

La actividad en el territorio antártico presenta variaciones extremas que se correlacionan con la estacionalidad, es decir:

- verano (4 -5 °C) = 80 máximo de personas
- invierno (-10 -0°C) = 10 mínimo de personas

Esto, tiene aparejado la necesidad de que la reactivación del sistema sea sencilla y que responda rápidamente a la fluctuación de la cantidad de personas

3. ROBUSTO

Construido con materiales de construcción resistentes de alta durabilidad, y resistentes a la corrosión, puesto que la Base está próxima a la playa. Con un sistema que incorpore sensores y programas de asistencia (software) que optimicen el tratamiento y detecten anomalías. El sistema debe de tener la capacidad para procesar variaciones en la composición de los efluentes sin afectar la eficacia del tratamiento.

4. EFICAZ

Respecto al efluente, éste deberá cumplir con ciertos parámetros, tanto de la normativa ambiental aplicable como exigencias asociadas a contaminantes emergentes, los que le otorgarán mayor efectividad a la solución tecnológica. Así, presentamos a continuación 3 niveles que representarán distintos grados de eficacia.

- **Contaminantes de primer nivel**

El efluente debe cumplir como mínimo con la tabla 4 del DS 90/2000 del MINSAL (ver Anexo 2a), documento que establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

- **Contaminantes de segundo nivel**

Si el efluente, además presenta un resultado más exigente respecto de la concentración de Nitrógeno y Fósforo, será mejor calificado. Para ello se considera como referencia, los límites máximos permisibles de estos contaminantes para lagos, detallados en la tabla 3 del DS 90/2000 del MINSAL (ver Anexo 2b).

- **Contaminantes del tercer nivel**

Si el efluente que genere el sistema de tratamiento, es capaz de ajustarse a los contaminantes de primer y segundo nivel, pero además, es capaz de depurar y/o capturar contaminantes emergentes como fármacos, antibióticos y microplásticos, el resultado será considerado de mejor calidad. Para ello se establecen las concentraciones detalladas en el Anexo 2c.



Respecto a los lodos, se solicita al proponente entregar un análisis del manejo de éstos que sea más amigable con el medio ambiente, evaluando medidas como la incineración, la entrega a una empresa autorizada, la valorización de éstos como fertilizante, etc. Por su parte, para la evaluación ambiental se pueden considerar factores como la contaminación, la huella de carbono, entre otros.

Igualmente, el proponente deberá considerar la entrega de los contenidos técnicos y formales para acreditar el cumplimiento del Artículo 71 letra b) primera parte, del DFL 725 de 1967 Código Sanitario, detallados en la Guía trámite Permiso Ambiental Sectorial del Artículo 138 RSEIA (Resolución exenta 2023991011018 del Servicio de Evaluación Ambiental).

4. CONSIDERACIONES PARA EL ACCESO A LA SOLUCIÓN FINAL O TRANSFERENCIA Y MASIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS

El transporte de solución planteada en su etapa de terreno en Antártica será apoyado por los medios logísticos que INACH dispone asociados al transporte marítimo y la descarga en territorio antártico. En términos del transporte del sistema, este puede ser enviado hasta el Centro de Distribución Antártico, ubicado en el muelle Prat de la ciudad de Punta Arenas. Desde allí, por cargo del INACH, el sistema de tratamiento puede ser enviado vía marítima hasta la base Profesor Julio Escudero.

Es necesario que el ducto que conduce el afluente a tratar desde la base Profesor Julio Escudero, y que conecta con el sistema de tratamiento mantenga la misma materialidad y dimensiones. Por un lado, esto evitará problemas de corrosión en caso de que, por ejemplo, se proponga un metal más o menos noble para la conexión del sistema de tratamiento, respecto del material del ducto de salida de los residuos desde la base. Por otro lado, el diámetro de las tuberías permitirá un ensamble sin la adición de adaptadores, que restará simpleza al sistema, atributo que está siendo valorado en esta propuesta.

El INACH asegura que el sistema de tratamiento de aguas pueda ser instalado en un edificio que lo aisle de las inclemencias climáticas. Este espacio tendrá calefacción, acceso a electricidad e internet. Se debe considerar si existen equipos electrónicos delicados a las fluctuaciones de corriente para disponer de una UPS, ya que es frecuente el corte de electricidad por mantención de los generadores. Del mismo modo, para la instalación de la planta, INACH dispondrá al servicio de la institución que propone la solución innovadora, herramientas, una grúa tipo manitou (yale) y un equipo de logísticos desplegado durante la temporada estival.

Respecto del funcionamiento, INACH puede apoyar la operación del sistema de tratamiento suministrando muestras tomadas in situ. Del mismo modo, para complementar el monitoreo de parámetros, INACH dispone de laboratorios donde se ha establecido un protocolo para la cuantificación de coliformes fecales in situ. El INACH evaluará el escalamiento de la solución después de la etapa 3 en otras dos bases que administra y que no cuentan con sistema de tratamiento de aguas servidas, esto dependiendo de los recursos económicos disponibles.

5. DETALLE DE ETAPAS

La presente convocatoria tendrá 3 etapas que se llevarán a cabo en forma consecutiva, las cuales se denominan:

- Etapa 1: Validación de Entornos relevantes o simulados
- Etapa 2: Validación de Entornos reales
- Etapa 3: Implementación y/o escalabilidad demostrada en entorno real

En cada una de las etapas se desarrollarán actividades conducentes a alcanzar los resultados esperados en ellas. Asimismo, cada etapa tendrá un número de proyectos seleccionados, los que serán indicados en este mismo apartado.

A continuación, se detallan las etapas que contendrá la presente convocatoria:

Etapa 1: Validación de Entornos Relevantes / Simulados

Inicio de la Etapa 1:

El proceso de admisibilidad, evaluación y adjudicación de los proyectos que ingresen a la Etapa 1, se regirá de acuerdo con lo indicado en el numeral "Evaluación de los Proyectos" de las bases de Desafíos Públicos 2025.

Al momento de la postulación, cada postulante deberá contar con un prototipo validado a nivel de laboratorio. Para la presente convocatoria se entenderá como prototipo validado en laboratorio a un prototipo que tenga las funciones básicas para el tratamiento de aguas grises y aguas negras y cumpla con los parámetros de eficiencia asociado al DS 90/2000 y contaminantes emergentes (ver Anexo 1). El TLR 3 debería de considerar pruebas de laboratorio, validación de métodos o procesos físicos, químicos o biológicos pueden tratar las aguas residuales de manera efectiva y un análisis de eficiencia.

Resultado de la Etapa 1: Validación de Entornos Relevantes / Simulados

Se espera que el prototipo cumpla, con al menos, los siguientes requisitos/parámetros/atributos:

1. Carga variable: Funcionamiento eficiente con la diferencia de carga que recibirá la planta a lo largo del año, recibiendo un peak máximo de carga en verano y un mínimo en invierno.
2. Automatización: sistema equipado con sensores que permitan llevar a cabo un monitoreo a distancias, tanto de parámetros de operación (flujo, etc.) y calidad del efluente (tabla 4 del DS 90/2000 y contaminantes emergentes).
3. Armable: debe ser prefabricada en la ciudad para que en territorio antártico llegue lista para conectar, aplicable tanto para las propias partes del sistema como con los puntos de origen de las aguas (grises o negras), considerando las distancias como los diámetros de tubería a unir.
4. Simple: de fácil manejo y reparación, es decir, operación sencilla y con manuales que desarrollen diversos casos de fallas, incluyendo acciones preventivas (mantención) y reactivas (emergencia).
5. Eficiencia: sistema que tenga la capacidad de eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Como dato relevante para el cálculo de agua a tratar, una planta de tratamiento de aguas residuales de una ciudad considera un afluente entre 150 a 250 litros por persona por día. En la Antártica se usan entre 60 y 70 litros de agua por persona por día. Por ejemplo, no hay uso recreativo de agua.

Además, es importante que la institución innovadora, considere en el diseño del sistema de tratamiento de aguas, la potencia máxima que puede ser suministrada para la depuración de las aguas, puesto que la energía eléctrica que se utiliza en la base Profesor Julio Escudero proviene de generadores que administra la Fuerza Aérea de Chile.



Por tanto, el resultado esperado para esta etapa será un prototipo validado en entornos relevantes o simulados, que se entenderá como: Prototipo de sistema tecnológico que permita el tratamiento de bajos volúmenes de aguas grises y negras, que cumplan con la normativa vigente.

Plazos de la Etapa 1:

Las actividades de esta etapa deberán desarrollarse dentro de un plazo máximo de 6 meses. Para avanzar a la siguiente etapa todos los proyectos adjudicados en la etapa 1 deben presentar un informe de resultados y propuesta de continuidad a la etapa 2 a más tardar en la fecha de término de la etapa 1, a través de la plataforma de Seguimiento y Control de la ANID. Para posteriormente realizar una presentación de tales resultados y la propuesta de continuidad a un panel de expertos, así como a la mandante. Junto con esto, deberán declarar todos los gastos correspondientes al presupuesto ejecutado en la etapa 1.

Número de proyectos a adjudicar en la Etapa 1:

La presente convocatoria adjudicará en esta etapa hasta 5 proyectos.

Monto de subsidio para cada proyecto en la Etapa 1:

El monto de subsidio para cada proyecto adjudicado en la etapa 1 es de hasta \$40.000.000. El costo total de la etapa del proyecto debe cumplir con los requisitos de financiamiento y aportes de acuerdo con lo establecido en el numeral "Financiamiento, aportes del Beneficiario y Asociada(s)" de las bases de los Desafíos Públicos 2025.

Aportes de INACH en la Etapa 1:

Para la etapa 1 los proyectos adjudicados podrán tener acceso a:

1. Plano de detalle de ingeniería del sistema de recolección existente en Base Escudero. Se entregarán planos de los sistemas, fotografías, gastos de consumo y generación de agua y electricidad.
2. Características de la composición del afluente en función del tipo de alimentación de las bases antárticas.
3. Apoyo del equipo profesional del INACH de infraestructura y medio ambiente. Se podrán realizar reuniones telemáticas con los equipos de innovadores para entregar antecedentes e información necesaria para el buen desarrollo de los prototipos.

Etapa 2: Validación de Entornos Reales

Inicio de la Etapa 2:

El proceso de evaluación y selección de proyectos que ingresen en la etapa 2, será lo indicado en el numeral "Informe de continuidad y evaluación de continuidad entre etapas" de las bases de los Desafíos Públicos 2025.

Cada postulante deberá contar, al momento del inicio de la etapa 2, con un prototipo validado a nivel entornos relevantes/simulados, que corresponde al resultado obtenido en la etapa 1.

Se entenderá como prototipo validado en entornos relevantes/simulados, un sistema tecnológico que permita el tratamiento de niveles medios de volúmenes de aguas servidas de un entorno similar a la Isla Rey Jorge en Antártica, capaz de cumplir con la normativa ambiental.

Resultado de la Etapa 2: Validación de Entornos Reales



Se espera que el prototipo cumpla con, al menos, los siguientes requisitos/parámetros/atributos:

1. Estacionalidad

Funcionamiento eficiente en climas polares, considerando las temperaturas de verano e invierno. Esto está directamente correlacionado con la diferencia de carga que recibirá la planta a lo largo del año, recibiendo un peak máximo de carga en verano y un mínimo en invierno.

2. Cumplimiento normativo comprobable

El sistema debe cumplir con la normativa nacional, tanto con la Ley 21.075 sobre recolección y reutilización de aguas grises, como con el Reglamento de condiciones sanitarias básicas y el Decreto Supremo DS 90/2000 de Chile establece la Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos en aguas marinas y continentales superficiales, particularmente con los límites máximos permitidos para descargas al mar (Anexo 2a). Complementariamente, se considerará más exitoso, un tratamiento que además sea capaz de depurar algún contaminante emergente a señalar por el proponente.

Se debe tener en cuenta que la caracterización del efluente no podrá ser obtenida mediante el servicio de algún laboratorio certificado, dada la distancia que a la que se encuentran éstos de las Bases del INACH en el territorio Antártico, por lo que la forma deberá ser planteada por el proponente.

3. Sistema simple y robusto.

El sistema debe cumplir su función de manera eficiente, con pocos componentes y alta resistencia a fallos. Se debe de caracterizar por su facilidad de uso, bajo mantenimiento y adaptabilidad a condiciones polares y sitios distantes de centros urbanos o rurales. Una característica importante es que sea de fácil reparación y bajo costo de mantención.

4. Compacto: El sistema se debe caracterizar por su eficiencia en el uso del espacio, su diseño optimizado y su adaptabilidad a diferentes entornos. Debe de considerarse un volumen aproximado a un container de volumen interno de aproximadamente 33,2 m³. Además, que se pueda integrar fácilmente en distintos entornos sin necesidad de grandes modificaciones. Ideal que pueda ser portátil para evaluar su transporte en la Etapa 3 a la Antártica de manera de responder el punto anterior.

Por tanto, el resultado esperado para esta etapa será un prototipo validado en entornos reales, que se entenderá como: Sistema tecnológico desarrollado en un entorno rural similar a la isla Rey Jorge donde se encuentra la Base Profesor Julio Escudero, capaz de tratar volúmenes medios de aguas grises y negras asociado a un grado de diseño su diseño optimizado y su adaptado a ambientes extremos.

Plazos de la Etapa 2:

Las actividades de esta etapa deberán desarrollarse dentro de un plazo máximo de 6 meses.

Para avanzar a la siguiente etapa, en caso de que el Desafío lo considere, todos los proyectos adjudicados en la etapa 2 deben haber presentado su informe de resultados y su propuesta de continuidad para la etapa 3 a más tardar al término de la etapa 2, a través de la plataforma de Seguimiento y Control de la ANID. Para posteriormente realizar una presentación de tales resultados y la propuesta de continuidad a un panel de expertos, así como a la mandante. Junto con esto, deberán haber declarado todos los gastos correspondientes al presupuesto ejecutado en la etapa 2.

Número de proyectos a adjudicar en la Etapa 2:

La presente convocatoria adjudicará en esta etapa hasta 3 proyectos.

Monto de subsidio para cada proyecto en la Etapa 2:

El monto de subsidio por cada proyecto adjudicado en la etapa 2 es de hasta \$90.000.000. El costo total de la etapa del proyecto debe cumplir con los requisitos de financiamiento y aportes de



acuerdo con lo establecido en el numeral "Financiamiento, aportes del Beneficiario y Asociada(s)" de las bases de los Desafíos Públicos 2025.

Aportes del INACH en la Etapa 2:

Para la etapa 2 los proyectos adjudicados podrán tener acceso a:

- Apoyo logístico: Se apoyará con el transporte de equipo de innovadores (2 personas), transporte de equipamiento menor si es necesario y espacio de trabajo con el objetivo de realizar levantamiento de información en el lugar.
- Acceso a laboratorios y equipos: La base Prof. Julio Escudero dispone de laboratorios y ciertos equipos que puedan ser utilizados para parametrización de factores y acceso a efluentes de aguas grises y negras para mediciones ad hoc.
- Apoyo profesional: INACH, a través de su área de Infraestructura y Medio Ambiente, apoyará con personal durante esta etapa.

Etapa 3: Implementación y/o escalabilidad demostrada en entorno real

Inicio de la Etapa 3:

El proceso de evaluación y selección de proyectos que ingresen en la etapa 3, será lo indicado en el numeral "Informe de continuidad y evaluación de continuidad entre etapas" de las bases de los Desafíos Públicos 2025.

Cada postulante deberá contar al momento del inicio de la etapa 3 con un prototipo validado en entorno real. Para la presente convocatoria se entenderá como prototipo validado en entorno real a un prototipo de sistema tecnológico que permita el tratamiento de niveles medios de volúmenes de aguas servidas de un entorno similar a la Isla Rey Jorge en Antártica. Incluyendo un prototipo que trate aguas grises y negras producidas en la Base Prof. Julio Escudero durante todo un año que incluya el verano e invierno austral. Este sistema deberá ser capaz de cumplir con la normativa ambiental vigente eliminando bacterias y contaminantes.

Resultado de la Etapa 3: Implementación y/o escalabilidad demostrada en entorno real

Se espera que la implementación y/o escalabilidad cumpla con al menos los siguientes requisitos/parámetros/atributos:

Es esperable que el prototipo que presentó los resultados operativos deseados durante la etapa piloto demuestre el funcionamiento estable durante una Expedición Científica Antártica. Esto implica que la operatividad del sistema supere las variables de carga del sistema entre verano e invierno, y las bajas temperaturas.

En esta etapa, es deseable que el sistema de tratamiento sea automatizado; de tal manera que, para la época invernal donde casi no hay personal de apoyo, la planta pueda sostener su funcionamiento. En este sentido, el monitoreo de los parámetros operativos es fundamental para detectar fallas en el funcionamiento. Algunas de las herramientas que fueron relevadas durante las entrevistas y que son utilizadas para monitorear son: cámaras de video, sensores de oxígeno disuelto, sensores de DQO, termómetros y medidores de pH.

En caso de fallas, es importante que los repuestos puedan conseguirse fácilmente en territorio continental chileno, de tal modo que, pueda disponerse de un stock de los mismos en Antártica.

Por tanto, el resultado de esta etapa será la implementación y/o escalabilidad demostrada en entorno real, que se entenderá como: Implementación del sistema tecnológico desarrollado y validado en la Isla Rey Jorge (Antártica) que trata los residuos de aguas grises y negras de la Base Prof. Julio Escudero. Cumpliendo con la normativa ambiental nacional e internacional respecto de la protección del medio ambiente.

Plazos de la Etapa 3:

Las actividades de esta fase deberán desarrollarse dentro de un plazo máximo de 12 meses.

Número de proyectos a adjudicar en la Etapa 3

La presente convocatoria adjudicará en esta etapa 3, solo 1 proyecto.

Monto de subsidio para el proyecto adjudicado en la Etapa 3:

El monto de subsidio para el proyecto adjudicado para la etapa 3 es de hasta \$200.000.000. El costo total de la etapa del proyecto debe cumplir con los requisitos de financiamiento y aportes de acuerdo numeral "Financiamiento, aportes del Beneficiario y Asociada(s)" de las bases de los Desafíos Públicos 2025.

Aportes del INACH en la Etapa 3:

Para la etapa 3 los proyectos adjudicados podrán tener acceso a:

Para la correcta ejecución del proyecto, INACH debe establecer un equipo encargado y definir responsabilidades específicas:

- Espacio de trabajo y apoyo logístico en el transporte del sistema tecnológico y equipo de innovadores: se dará acceso a laboratorios y espacios de trabajos, además de la estadía para el equipo de innovadores.
- Espacio de implementación en dependencias de la Base Prof. Julio Escudero: se dará acceso y espacio para la instalación del sistema tecnológico.
- Apoyo profesional: INACH, a través de su área de Infraestructura y Medio Ambiente, será la responsable de supervisar el proyecto y validar el cumplimiento normativo.
- Apoyo logístico: Personal de operaciones en la Base Profesor Julio Escudero participará en la instalación y mantenimiento de los equipos.
- Colaboraciones externas: Cooperación con otras bases antárticas para compartir conocimientos y optimizar procesos.

El Territorio Antártico Chileno tiene una serie de particularidades que se deben considerar para la solución propuesta (ver Anexo 3 Figuras de Emplazamiento). Para el desarrollo de un desafío como este en la Antártica, es fundamental considerar no sólo las limitaciones logísticas sino también los requerimientos técnicos, normativos y administrativos que permitan una implementación efectiva. A continuación, se detallan particularidades claves que deben de abordarse:

- a. **Accesibilidad:** El acceso a Isla Rey Jorge (Antártica) se realiza vía aérea o marítima, en fechas planificadas previamente y sin posibilidad de modificar estas. Esto implica que tanto carga como personal debe estar dispuesto y preparado para utilizar los medios disponibles (Anexo 3a). Existen limitaciones de peso y volumen, por lo que la carga enviada a la Antártica por vía marítima debe cumplir con restricciones de espacio en los buques y con los requisitos de manipulación en condiciones extremas. Por lo general esta se envía en containers.
- b. **Condición Remota:** En Antártica no hay posibilidad de adquirir suministros o insumos faltantes para la instalación, puesta en marcha u operación, por lo mismo se debe considerar adquirir con anticipación y enviar junto a la carga.
- c. **Flexibilidad pasajes equipo ejecutor:** Como el clima en Antártica es extremo y muy variable



se debe de considerar que los vuelos aéreos pueden cancelarse y sufrir modificaciones por esta razón se deben de comprar pasajes que incluyan cambios (Santiago-Punta Arenas y Punta Arenas Santiago).

- d. **Energía:** Considerar que la Base Profesor Julio Escudero utiliza sistemas de generación eléctrica, generalmente mediante combustibles fósiles.
- e. **Ubicación, infraestructura y permisología:** la solución deberá operar en el terreno que funciona la Base Prof. Julio Escudero administrada por INACH (Anexo 3b), lo que implica las consideraciones en términos de espacio y logística operativa. Es importante que el diseño de la solución tenga en cuenta esta limitación y sea compatible con el espacio existente. Además, debe considerar las autorizaciones respectivas para su operación que son otorgadas por el servicio de salud.
- f. **Restricciones medioambientales:** la solución deberá tener en consideración la normativa ambiental vigente respecto de la instalación y operación en Antártica.
- g. **Limitaciones de recurso hídrico:** La disponibilidad de agua en la Antártica es limitada, dependiendo de fuentes de deshielo o almacenamiento previo. Es necesario considerar tecnologías que optimicen la reutilización de aguas tratadas para ciertos usos no potables, reduciendo la demanda sobre los suministros disponibles.
- h. **Marco Regulatorio y Normativas Aplicables:** la propuesta debe ajustarse al cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales pertinentes, por ejemplo, el DS 90/2000 del MINSAL que establece los límites máximos permisibles para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua; el DFL 725 Código Sanitario que indica que cualquier sistema debe ser autorizado; el DS 4/2009, del MINGESPRES, reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas, si aplica, y considerar lo establecido en la Ley 21.255 del Estatuto Chileno Antártico, particularmente, sobre la eliminación y tratamiento de residuos (Artículo 36) y las exigencias sobre la evaluación de impacto ambiental de actividades antárticas (artículo 37). Además, se deberá considerar la normativa internacional adscrita por Chile, que incluye al Tratado Antártico, al Protocolo al Tratado Antártico sobre la Protección del Medio Ambiente (Protocolo de Madrid), que obliga a minimizar el impacto ambiental y gestionar adecuadamente los residuos en la Antártica y a la Convención de Londres MARPOL que establece medidas de prevención de contaminación por aguas residuales en el ámbito marítimo.



6. RESUMEN DEL PROYECTO

En función de los aspectos detallados anteriormente, el desafío se organiza de la siguiente manera:

ítem	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Nº proyectos a adjudicar	Hasta 5 proyectos	Hasta 3 proyectos	Solo 1 proyectos
Descripción	Prototipo de sistema tecnológico que permita el tratamiento de bajos volúmenes de aguas grises y negras, que cumplan con la normativa vigente.	Sistema tecnológico que permita el tratamiento de niveles medios de volúmenes de aguas servidas de un entorno similar a la Isla Rey Jorge en Antártica, capaz de cumplir con la normativa ambiental.	Implementación del sistema tecnológico desarrollado y validado en la Isla Rey Jorge (Antártica) que trata los residuos de aguas grises y negras de la Base Prof. Julio Escudero. Cumpliendo con la normativa ambiental nacional e internacional respecto de la protección del medio ambiente.
Plazo de ejecución:	<i>6 meses.</i>	<i>6 meses.</i>	<i>12 meses.</i>
Financiamiento ANID máximo por proyecto:	<i>\$40.000.000</i>	<i>\$90.000.000</i>	<i>\$200.000.000</i>
Proyectos seleccionados que pasan a la siguiente Etapa	Hasta 3 proyectos	Hasta 1 proyecto	-

7. ANEXOS

Anexo 1. Manual de usuario PTAS de Base Escudero. Planta de tratamiento de aguas servidas de biorreacción secuencial continua.

Anexo 2. Parámetros esperados del efluente del Sistema de Tratamiento de Aguas Servidas.

Anexo 2a. Tabla N°4 del DS 90/2000, del Ministerio de Salud, que establece los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral.

Contaminante	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	20 mg/L
Aluminio	1 mg/L
Arsénico	0,2 mg/L
Cadmio	0,02 mg/L
Cianuro	0,5 mg/L
Cobre	1 mg/L
Coliformes Fecales o termotolerantes	1000-70*
Índice de Fenol	0,5 mg/L
Cromo Hexavalente	0,2 mg/L
Cromo Total	2,5 mg/L
DBO5	60 mg O2/L
Estaño	0,5 mg/L
Fluoruro	1,5 mg/L
Fósforo Total	5 mg/L
Hidrocarburos totales	10 mg/L
Hidrocarburos volátiles	1 mg/L
Hierro	10 mg/L
Manganeso	2 mg/L
Mercurio	0,005 mg/L
Molibdeno	0,1 mg/L
Níquel	2 mg/L
Nitrógeno total kjeldahl	50 mg/L
PH	6,0-9,0
Plomo	0,2 mg/L
SAAM	10 mg/L
Selenio	0,01 mg/L

Sólidos Sedimentables	5 ml/L 1h
Sólidos Suspendidos Totales	100 mg/L
Sulfuro	1 mg/L
Temperatura	30°C
Zinc	5 mg/L

* = En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml. (Fuente:Tabla 4 del DS 90/2000 del MINSAL.)

Anexo 2b. Tabla N°3 del DS 90/2000, del Ministerio de Salud, que establece los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustres.

Contaminante	Límite Máximo Permisible (DS 90/2000 Tabla 3)
Fósforo	2 mg/L
Nitrógeno Total **	10 mg/L

** = La determinación del contaminante corresponderá a la suma de las concentraciones de nitrógeno total kjeldahl, nitrito y nitrato. (Fuente:Tabla 3 del DS 90/2000 del MINSAL.)

Anexo 2c. Tabla de concentración máxima de contaminantes emergentes.

Contaminante Emergente	Límite de concentración recomendada
Ibuprofeno	0.03 - 1,2 µg/L
17 β-Estradiol (E2) (hormona sintética)	0,78 - 25.8 ng/L
Estrona (E1) hormona natural	0,03 - 11.6 ng/L
17 α-Etinilestradiol (EE2) (hormona sintética)	275 - 798 ng/L
Cafeína	11 - 4083 ng/L
Diclofenaco	11 - 74 ng/L
Bisfenol A (BPA)	0,5 - 27.3 ng/L

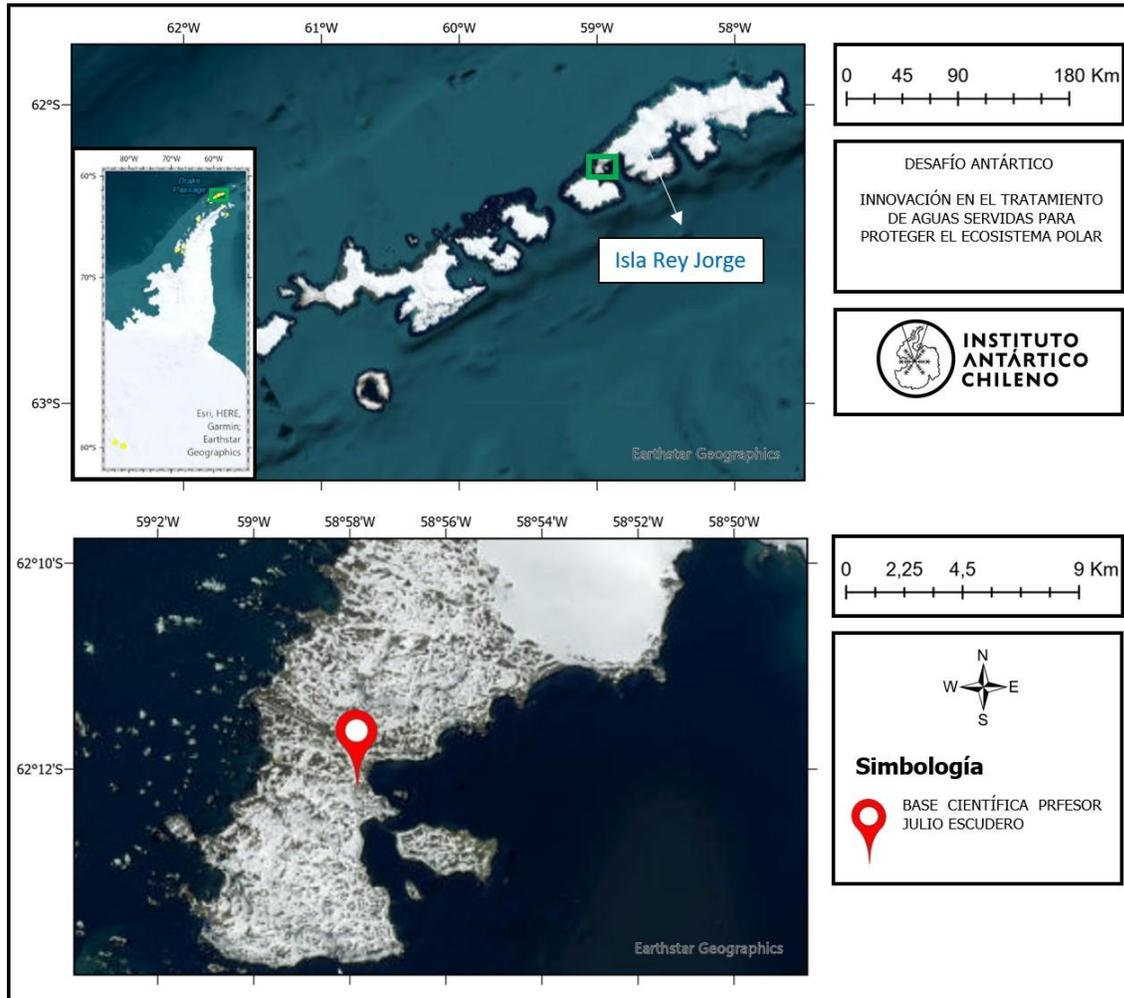
Fuente: Peña-Álvarez & Castillo- Alanís. 2015.



Anexo 3. Figuras de Emplazamiento: Cartografía y layout.

Anexo 3a. La Figura indica la localización de la Base Científica Profesor Julio Escudero. La base se ubica en la península Fildes, isla Rey Jorge, Islas Shetland del Sur.

Anexo 3b. La Figura muestra un Layout la Base Científica Profesor Julio Escudero en el que se indica



la localización actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (enmarcada en amarillo y cerca de la playa).

