



|

MAR DE HIELO

Estación de investigación científica
Glaciar Universidad

Estudiante: Florencia Cabezas Calderón
Profesor Guía: Humberto Eliash Díaz

Planteamiento Integral del Problema de Título
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad de Chile
Otoño, 2023





*Figura 1: En primer plano el Glaciar Universidad, de fondo la geografía montañosa que compone el paisaje.
Fuente: Fotografía facilitada por Carlos Hevia Riera.*

Profesionales consultados

Andrés Rivera

*Glaciólogo. Académico del departamento de geografía de la Universidad de Chile.
Corresponsal nacional de la Sociedad Glaciológica Internacional (IGS).*

Patricio Pliscoff

*Profesor Asociado del Instituto de Geografía y del Departamento de Ecología de la
Pontificia Universidad Católica de Chile.*

Hans Fernández

*Geógrafo, Universidad Academia de Humanismo Cristiano.
Doctor en Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.*

Gerardo Monje

Guía de montaña agencia Glaciares de Colchagua

Contenido

00. Presentación

- 0.1 Agradecimientos
- 0.2 Motivación personal
- 0.3 Problematización

01. Antecedentes

- 1.1 Cambio climático y derretimiento glaciar
- 1.2 El escenario glaciar en Chile
- 1.3 Glaciar Universidad

02. Tema

- 2.1 Arquitectura extrema
 - 2.1.4 Arquitectura en alta montaña
- 2.2 Arquitectura para la ciencia
 - 2.2.1 Arquitectura y ciencia en Chile
- 2.3 Referentes

03. Proyecto

- 3.1 Lugar
- 3.2 Programa
- 3.3 Argumento proyectual
- 3.4 Estrategia de proyecto
- 3.5 Diseño partido general

04. Cierre

05. Referencias bibliográficas

06. Anexos

00. PRESENTACIÓN

A mi familia, Pilar, Fernando, Rocío y Manuel, por su incondicional apoyo y contención.

A mis amistades, por su preocupación constante y por ser inagotables fuentes de inspiración y creatividad.

A Humberto, por empujarme a reconectar con la fibra artística que da sentido a la arquitectura.

Motivación personal

Considero el proceso de título como una última instancia académica para explorar aquellos vacíos que aún desconocemos y que nos despiertan curiosidad. Enfrentar el desafío del encargo más allá de la resolución de un problema concreto para poner a prueba los límites de la arquitectura como pieza física pero también como el móvil de una postura crítica respecto al mundo que nos rodea.

El punto de partida de este proyecto es la preocupación por el cambio climático, específicamente referido a la crisis hídrica que ya está afectando nuestro diario vivir. Son múltiples y variadas las propuestas arquitectónicas que apuntan a enfrentar este problema a partir de la búsqueda de fuentes alternativas de agua dulce o la reutilización del recurso. Sin embargo, creo fundamental la necesidad de ampliar la mirada y entender que el origen de todo nace en aquellos lugares situados en la alta cordillera, inhóspitos, desconocidos y muchas veces alejados del alcance del ser humano: los glaciares.

Estas masas de hielo son la verdadera fuente de vida de nuestros sistemas y su lejanía los condena a la invisibilización del potencial que tienen como agentes de cambio dentro del conflicto medioambiental actual. Así como el lenguaje es capaz de crear realidades, la posibilidad de acercarse y observar un fenómeno inexplorado tiene también la capacidad de volverlo real, tangible, e integrarlo a nuestra cotidianidad.

El presente proyecto de título tiene la convicción de vincularnos con un territorio que se percibe lejano, desafiando sus propiedades físicas y materiales en un intento por colonizar aquellos lugares que aún parecen inalcanzables.

Problematización

La problemática general yace sobre aquellos momentos en que el acto de habitar es llevado al límite. En estas circunstancias la supervivencia se instala como el objetivo fundamental, por lo que el proyecto se piensa como un soporte que permite otorgar las condiciones mínimas para la habitabilidad. Éstas son el resguardo frente a la adversidad del clima y el acceso a suministros básicos, como la electricidad y el agua.

La presente memoria toma como caso de estudio el Glaciar Universidad, ubicado en la alta cordillera de la región de O'Higgins. La decisión de posicionar el proyecto de arquitectura en este lugar guarda relación con una postura crítica respecto al devenir del recurso. Una gran masa de hielo que en primera instancia se percibe imponente en el territorio, pero que en el fondo es frágil, vulnerable y que atraviesa un lento proceso de desvanecimiento.

La manera en que se enfrenta esta realidad es desde la vereda de la ciencia y la investigación, consideradas como herramientas que nos permiten por sobretodo comprender el estado de las cosas y anteponerse a situaciones futuras, en este caso relativas al avance inminente del cambio climático y el consecuente retroceso de los glaciares.

Ante la situación descrita, es posible plantear algunas preguntas iniciales ¿hasta qué punto es posible llevar al límite las propiedades físicas de la arquitectura cuando se sitúa en condiciones extremas?, ¿cuáles son aquellos aspectos imprescindibles para la obra arquitectónica cuando debe reducirse al mínimo habitar? o en su defecto ¿de cuáles podemos prescindir? Estas son algunas interrogantes que han surgido durante el proceso de formulación del problema que no buscarán su respuesta en el presente escrito, sino más bien se espera puedan seguir abriendo nuevas reflexiones.

Cambio climático y el derretimiento glaciar

El cambio climático se ha instalado como uno de los mayores desafíos en las últimas décadas. El aumento de las temperaturas a nivel global afecta directamente las condiciones y la disponibilidad de los recursos hídricos, y una de sus representaciones más tangibles es el derretimiento de los glaciares, el cual va aumentando exponencialmente y a un ritmo cada vez más acelerado.

Desde el año 2000 hasta la fecha se registra un balance negativo de las masas glaciares, es decir, la pérdida de hielo es superior a su acumulación. De acuerdo con el artículo “*Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016*” liderado por la Universidad de Zurich, en un período de 55 años los glaciares han perdido más de 9,6 billones de toneladas de hielo a lo largo de todo el mundo (Zemp et al., 2019), con especial concentración en la región de Antártica y América del Norte.

Las masas glaciares avanzan y retroceden anualmente en respuesta a los cambios estacionales. Su derretimiento, en condiciones normales, suministra de aguanieve a comunidades aledañas a los cauces permitiendo su desarrollo cotidiano. El aumento de las temperaturas, producto del calentamiento global, conlleva un aumento del volumen de agua, el cual proviene de un almacenamiento glaciar de larga data. Sin embargo, el incremento de este recurso hídrico es temporal, pues una vez alcanzado el peak de contribución de aguanieve por parte de los glaciares, la escorrentía comienza a reducirse a medida que el glaciar se encoge hasta el punto de dejar de producir grandes volúmenes de agua. Este es el caso de muchos glaciares pequeños en los Andes, Europa Central y Canadá occidental.

La disminución de los glaciares podría significar la pérdida de su capacidad como buffer en contextos de sequía y olas de calor. A su vez, la reducción de la escorrentía glaciar puede impactar negativamente en la producción agrícola, la seguridad alimentaria, la producción hidroeléctrica, además de resultar en un estrés hídrico que se ve exacerbado por el incremento en la demanda de agua por parte de una población creciente. El agua producida por el derretimiento del hielo escurre en dirección al mar, lo que ha provocado un aumento de 27 milímetros respecto a su nivel promedio.

Las proyecciones indican que glaciares y campos de hielo continuarán perdiendo masa y permanecerán como uno de los principales contribuyentes al incremento del nivel del mar durante el siglo XXI. Su tasa de derretimiento se relaciona directamente con el aumento de las temperaturas, a raíz de la calidad y la cantidad de emisiones atmosféricas. En el caso de limitar el aumento de la temperatura global a 1.5°C por sobre los niveles preindustriales, según el Acuerdo de París, en un escenario de bajas emisiones la pérdida de masa glaciar sería de un 30%. De lo contrario, si perdura el nivel de emisiones del escenario actual la temperatura global superará los 4°C por sobre los niveles preindustriales, causando el derretimiento del 60% de los glaciares.

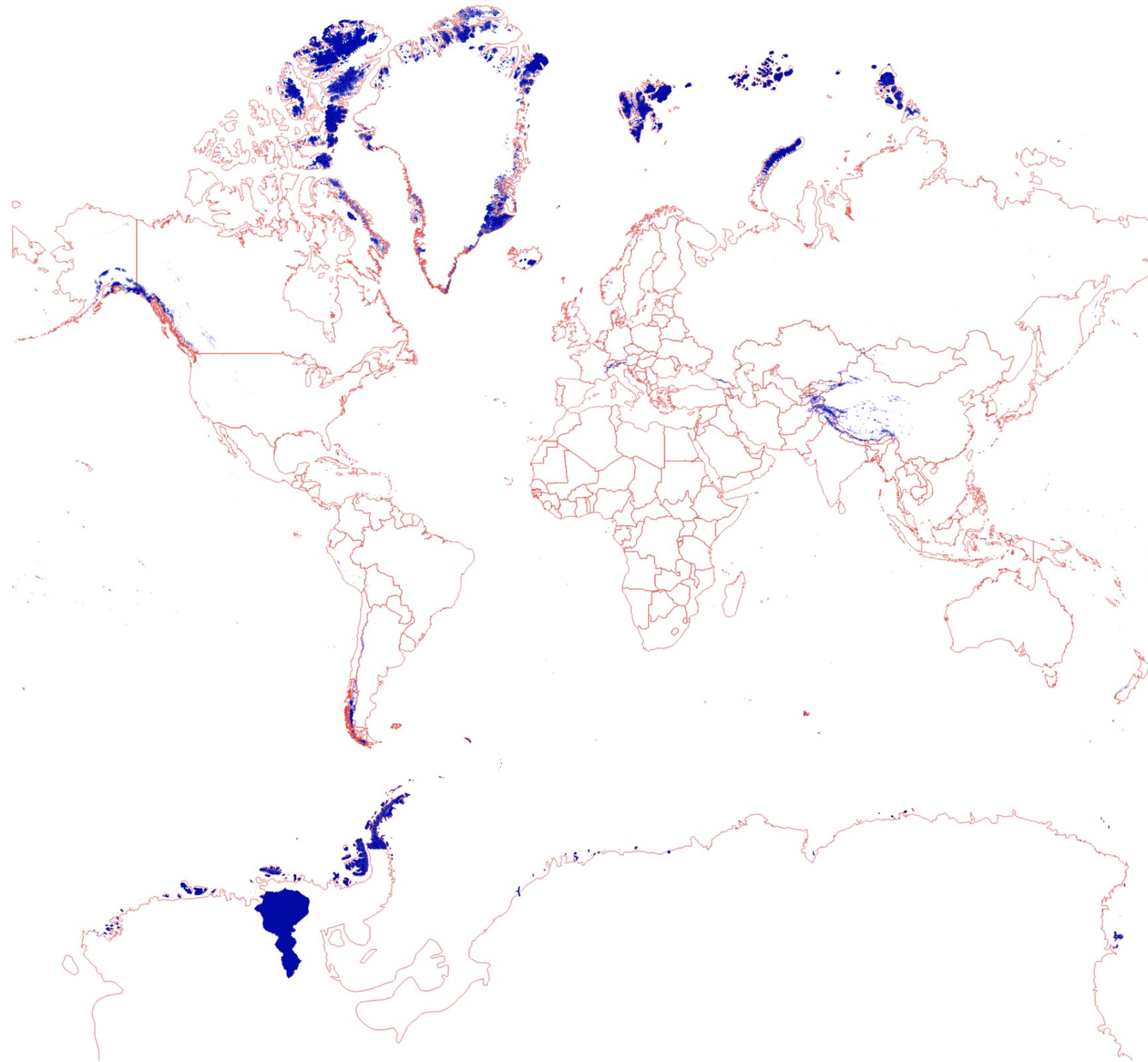


Figura 2. Identificación glaciares a nivel global.
Fuente: Elaboración propia

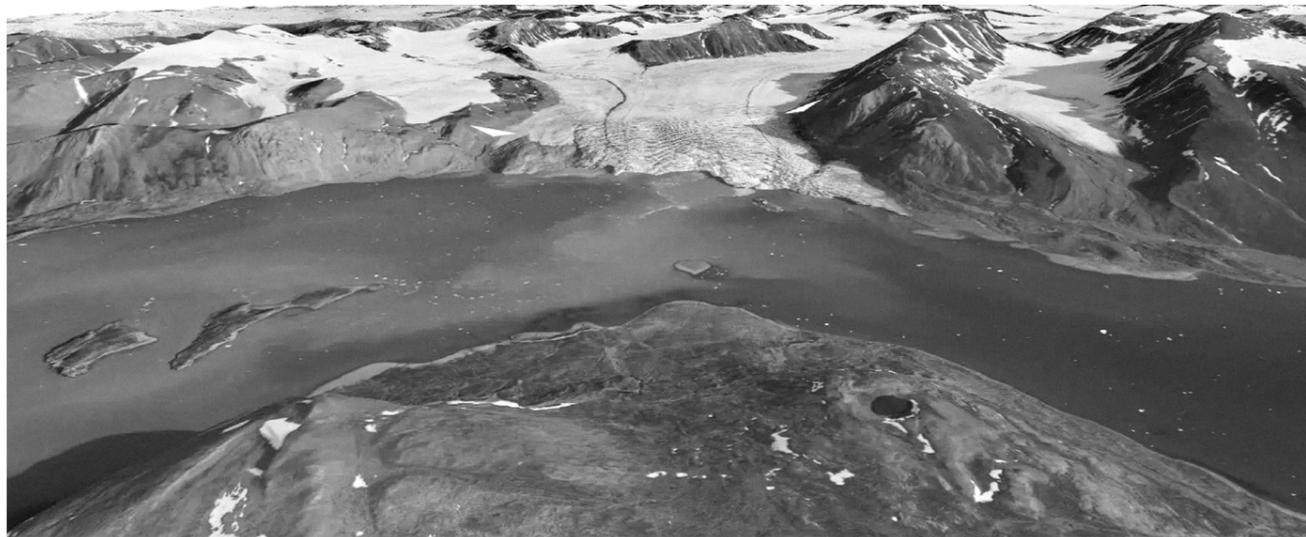


Figura 3: Evolución del glaciar Bloomstrandbeen 1936-2009. Mar glacial ártico, Noruega.
Fuente: Instituto Polar Noruego & Emily Geyman et al., Nature.
Imágenes extraídas de <https://www.nytimes.com/2022/01/19/climate/svalbard-glacier-melting.html>

Independientemente del escenario climático en el que nos situemos, para el año 2050 los glaciares que se ubiquen fuera de los campos de hielo polares y cuya superficie sea menor que 10km² podrían desaparecer por completo. Este sería el caso de los últimos glaciares que aún pueden encontrarse en África. Si se mantiene el escenario actual (business-as-usual high-emission scenario (UNESCO, 2022) las áreas glaciadas que se encuentren en un rango entre 10 y 100km² podrían desaparecer casi completamente para el 2100.

Frente al negativo panorama que enfrentamos, la UNESCO y su Comité de Patrimonio Mundial han insistido en la necesidad de orientar los esfuerzos colectivos en pos de limitar el aumento de la temperatura global promedio a 1.5°C por sobre los niveles pre-industriales. Se reconoce que dicha acción podría reducir significativamente los riesgos e impactos del cambio climático, permitiendo así proteger el excepcional valor universal, la integridad y la autenticidad de los distintos sitios de patrimonio mundial (UNESCO, 2022), muchos de los cuales contienen glaciares.

UNESCO ha desarrollado diversas políticas institucionales, estrategias y pautas para la acción climática y la protección del patrimonio cultural y natural. Entre ellas se reconoce la definición de lineamientos que apuntan a la reducción eficiente de emisiones y a la respuesta frente al cambio inminente de los sitios glaciares.

Se alude, en primer lugar, a la identificación de vacíos de conocimiento y el mejoramiento en las redes de monitoreo y la observación in-situ, puesto que en muchos casos este último es el punto de partida para la evaluación del recurso hídrico y la posterior elaboración de respuestas efectivas. Hoy en día numerosos sitios se ven afectados por la ausencia de estas prácticas, por ende son muchas las aristas del cambio glaciar que aún se desconocen. Entre las causas que se atribuyen a este problema se encuentran la falta de financiamiento y recursos humanos, la dificultad de acceso a lugares remotos y la falta de infraestructura para la labor científica.

En segundo lugar se releva la importancia del intercambio de conocimiento y la participación activa de las comunidades en la protección de los entornos glaciares. Frente a ello, UNESCO reconoce la importancia de fortalecer los procesos de gobernanza de la acción climática y mejorar la movilización del conocimiento, la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional en torno a los riesgos y respuestas ante el cambio climático (UNESCO, 2022). De esta manera es posible involucrar a las distintas partes de la sociedad, tales como municipios, comunidades rurales, sector privado, sociedad civil, instituciones gubernamentales, entre otros, en un proceso de concientización respecto a nuestra dependencia del recurso hídrico glaciar como fuente esencial para el desarrollo de la vida.

El escenario glaciar en Chile

Los glaciares de Chile forman parte de lo que se conoce como los Andes Sudamericanos. De acuerdo al inventario de glaciares elaborado por la Dirección General de Aguas (DGA) el año 2015, Chile cuenta con un área englaciada neta de 12.583 km² pudiendo contabilizar un total de 18.869 glaciares. Esto excluye el Campo de Hielo Sur y glaciares aledaños ubicados entre el territorio nacional y argentino, los cuales por sí sólo comprenden una superficie de 14.151 km² contribuyendo al catastro nacional con un total de 6.310 glaciares.

Con el fin de entregar un panorama más detallado respecto a la cuantificación de las áreas glaciares, la DGA divide el territorio chileno en 5 regiones principales: Norte, Centro, Centro Sur, Patagonia, Tierra del Fuego e islas adyacentes, y Andes del Sur.

El problema del derretimiento de los glaciares producto de la crisis climática hoy en día está presente a lo largo de todo el país producto del aumento de las temperaturas durante el siglo XX y el cambio en las precipitaciones.

En la zona del “Norte Chico” se identifican glaciares de pequeñas dimensiones altamente susceptibles al pronóstico climático que se proyecta para fines de este siglo. Un panorama similar se prevé para Chile Central, que si bien cuenta con mayores superficies de hielo, éstas han presentado igualmente importantes tendencias de retroceso y adelgazamiento durante las últimas décadas. En ambos casos las razones se adjudican al *“aumento de la temperatura de 0.25°/década que se detecta en la alta cordillera para la mitad norte de Chile.”* (Falvey & Garreaud, 2009, como se citó en Rivera et al., 2016). A su vez, el balance negativo de los glaciares en la región central del país está también asociado a la disminución en las precipitaciones que conllevan una menor acumulación de nieve en la alta cordillera, sumado a la crítica situación de sequía que atraviesan los valles centrales en esta zona del país.

En el sur, la geografía volcánica ha intensificado el retroceso de los glaciares por la actividad eruptiva en la zona, mientras que en la zona austral los glaciares ubicados en el Parque Nacional Torres del Paine han visto reducida su superficie en un 8% desde mediados del siglo XX (Rivera et al., 2016).

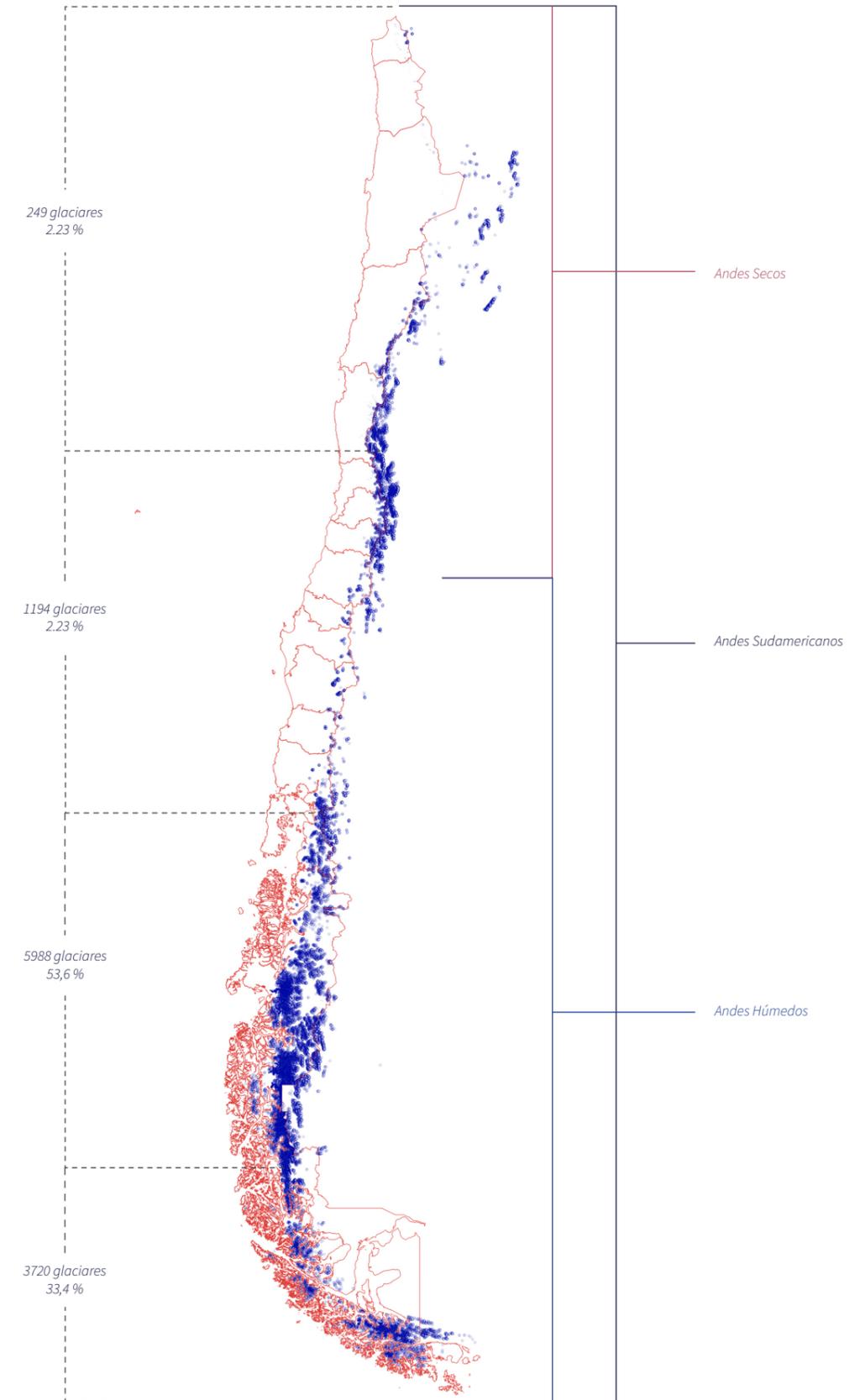


Figura 4: Identificación glaciares en Chile
Fuente: Elaboración propia en base a mapa de "Fundación Glaciares Chilenos"

En Chile, la relevancia de los glaciares radica en el rol fundamental que cumplen dentro de los ecosistemas y el abastecimiento de agua dulce para consumo humano. Los cuerpos de hielo principalmente de la zona centro-norte del país realizan importantes aportes hídricos a las cuencas y actividades humanas que se desarrollan río abajo, sobretodo considerando su condición de aridez y semiaridez, el déficit de precipitaciones y la exposición a períodos de sequía importantes (Bórquez et al., 2006), siendo los glaciares muchas veces los únicos reservorios permanentes de agua.

En relación a lo anterior, Bórquez et al. (2006) afirma lo siguiente:

“En la zona central por su alta densidad poblacional y la concentración de actividades económicas intensivas en el uso del agua, la Cordillera de los Andes cumple un rol preponderante en la provisión de recursos hídricos, ya que estas regiones son las que presentan mayor superficie englaciada luego de Campos de Hielo.” (p. 67)

En el caso de la zona sur, en épocas de sequía y aumento de temperaturas el derretimiento de los glaciares da origen a los caudales de estiaje, que corresponden a los niveles mínimos que alcanzan los ríos debido a las condiciones climáticas anteriormente mencionadas, permitiendo así el flujo hídrico permanente. Así mismo, se reconoce su aporte al reservorio de napas subterráneas.

La urgencia por la protección y preservación de los glaciares en Chile tiene que ver con la dependencia social, económica, cultural y natural asociada a estas masas de hielo, frente al *“impacto que su reducción puede causar tanto a las poblaciones, como a las economías de subsistencia, a los recursos naturales y la producción agrícola en los lugares de mayor producción y población del país (zona norte y centro)”* (Bórquez et al., 2006).

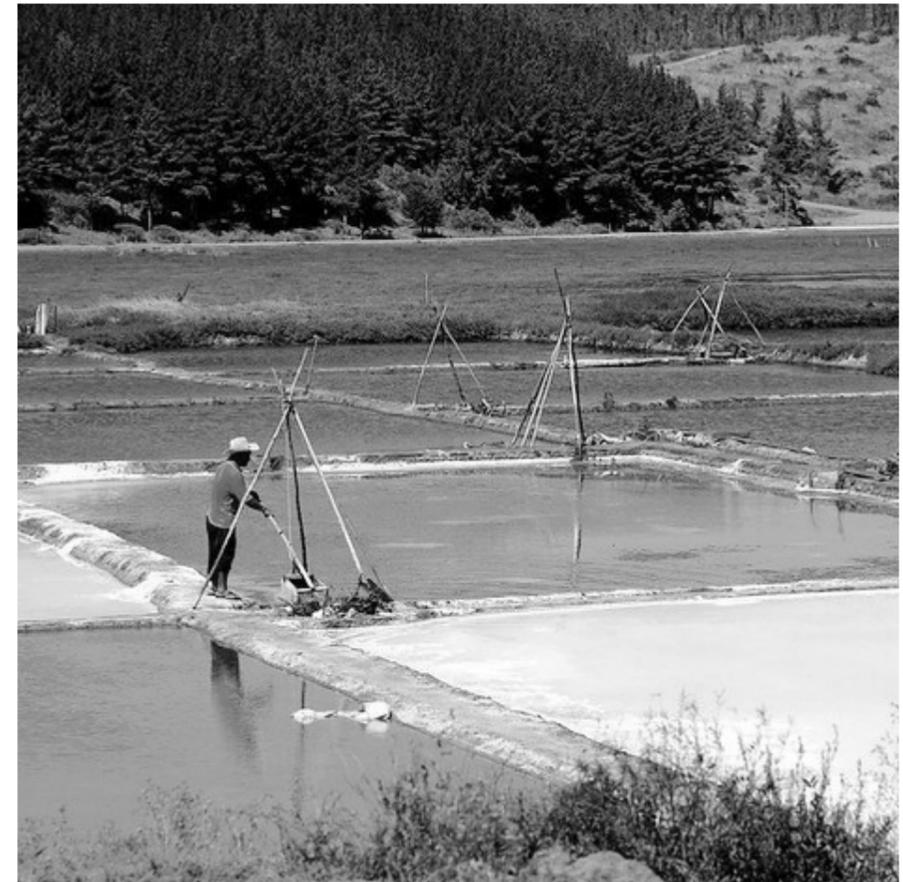


Figura 5: Paisaje productivo de la sal Lo Valdivia-Boyeruca, VI Región. El agua utilizada en las salinas proviene del estero San Pedro de Alcántara, el cual forma parte de las redes hidrográficas de la región que son abastecidas por aguas glaciares.
Fuente: @JAV

Glaciar Universidad

En los altos de la cordillera de los Andes Centrales en la región de O'Higgins se encuentra la masa glaciara más grande de Chile después de los campos de hielo de la Patagonia. Ésta se compone por los glaciares Cipreses, Cortaderal, Palomo y, el más grande de la zona, el Glaciar Universidad.

El Glaciar Universidad se ubica en la parte más alta de la cuenca del Río Tinguiririca ($34^{\circ} 40' S$, $70^{\circ} 20' W$), 55 km al este de San Fernando y 120 km al sureste de Santiago. Comprende un área de 29.2 km² y una longitud de 10.6 km (Bravo et al., 2017). La parte más baja del glaciar se encuentra a 2.482 metros sobre el nivel del mar y su parte más alta a 4.970 metros sobre el nivel del mar.

Las primeras expediciones científicas que se realizaron al glaciar en la década de los 50', lideradas por el glaciólogo francés Louis Lliboutry, permitieron dejar en evidencia el carácter privado que tenía en aquel entonces el sitio, al ubicarse dentro del terreno de las haciendas Chacayes y Sierra Nevada. Los relatos de Lliboutry describen la situación de la siguiente manera:

“Encontramos una barrera que cerraba la entrada de una hacienda. Su dueño la custodiaba con un fusil y un gran revólver en el cinturón. Prohibía la entrada a su estancia. Le expliqué que yo era profesor de la Universidad de Chile y que había visto en fotografías aéreas la existencia en su estancia (se extendía hasta la frontera) de los glaciares más grandes de la región. Estuvo muy asombrado, ignoraba poseer glaciares en sus tierras, y nos permitió la visita.” (Turrel, 2019).

En la actualidad, persiste el carácter privado del terreno y corresponde a una reserva de 55 mil hectáreas que pertenecen desde los años 80' a dos familias y que aún no está adherida a ningún sistema de protección.

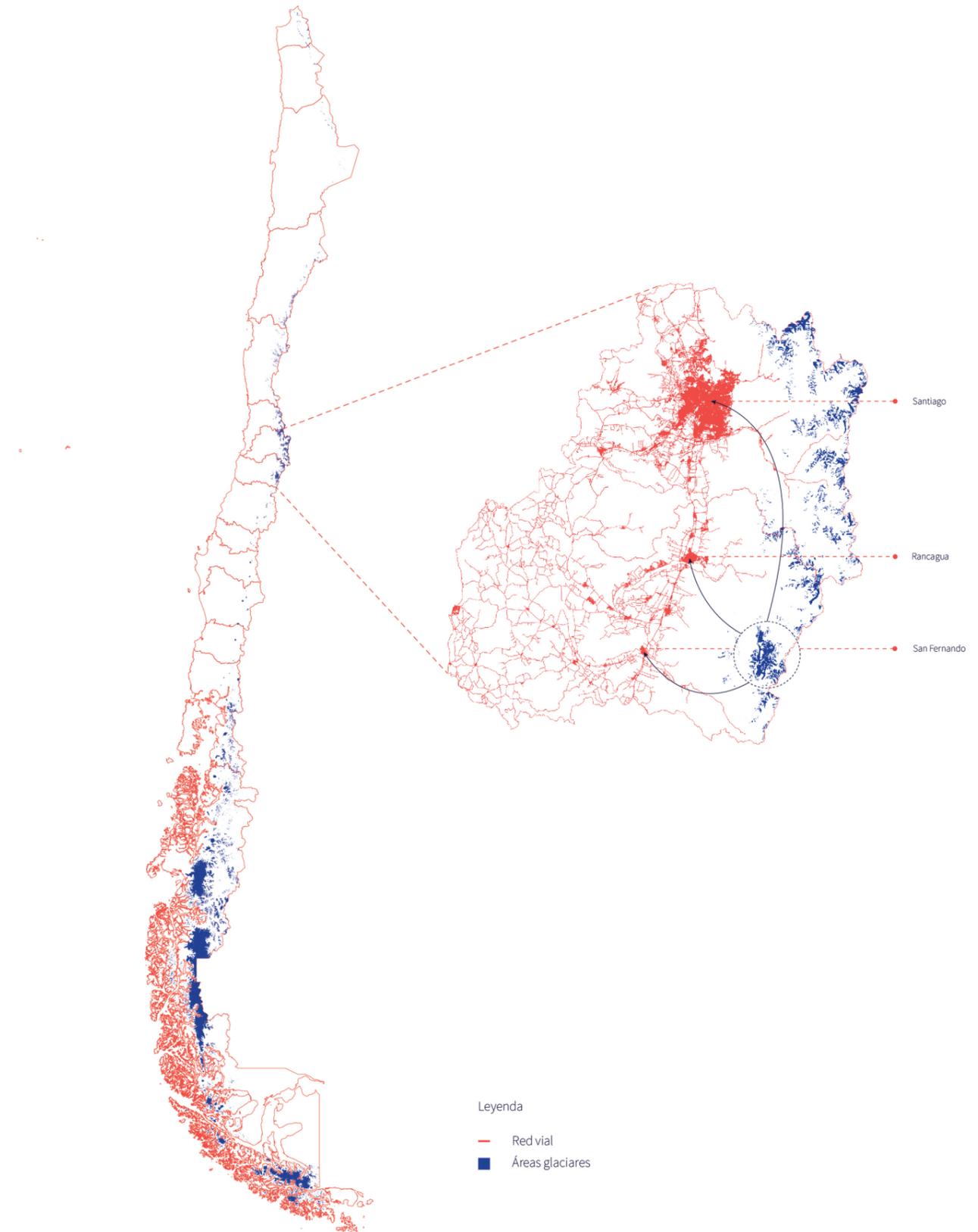


Figura 6: Ubicación Glaciar Universidad respecto a centros urbanos más próximos.
Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Vista desde y hacia el Glaciar Universidad.
Fuente: Fotografía facilitada por Carlos Hevia Riera

Contexto geográfico

El campo de hielo del cual forma parte el Glaciar Universidad se sitúa en la Sierra del Brujo, un cordón montañoso de 35 km de largo ubicado entre las cuencas del río Cachapoal y Tinguiririca que ha sido esculpido por la acción erosiva de los glaciares del lugar conformando un dramático paisaje de afloraciones de granito que se asemeja al de la cordillera patagónica. Existen ciertas teorías que plantean que el relieve de la Sierra ha permitido la relativa conservación de este complejo glaciar, en comparación a la desfavorable realidad que afecta al resto del territorio chileno. Algunas de ellas aluden a que *“la irregular topografía de la zona facilita la protección de los glaciares de la incidencia de los rayos solares.”* (Gómez, 2021). Otra posibilidad que se plantea es el rol que juega la altitud de las montañas *“ya que existen cumbres que superan los 4.000 metros de altitud, muy por sobre la actual línea de equilibrio de los glaciares que en la región se sitúa alrededor de los 2.500 metros por sobre el nivel del mar.”* (Gómez, 2021)

A su vez, el glaciar se ubica entre los volcanes Tinguiririca y el Palomo, los cuales se encuentran en estado pasivo. Por el norte, el volcán Palomo está integrado dentro del complejo glaciar del cual forma parte el Glaciar Universidad, mientras que hacia el sur el volcán Tinguiririca ha permitido el desarrollo de importantes actividades termales como son las Termas del Flaco.

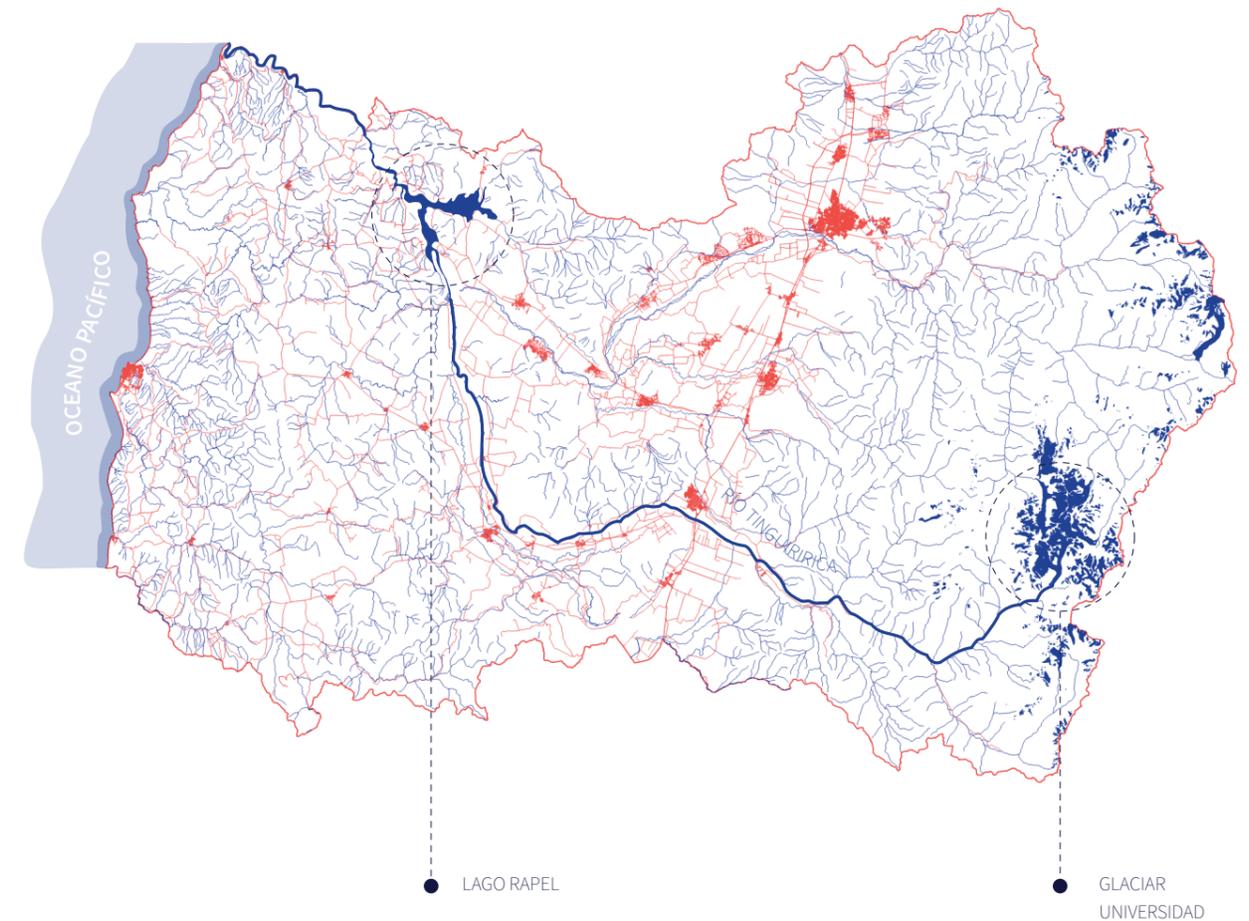


Figura 8: Esquema sistema hidrográfico Glaciar Universidad
Fuente: Elaboración propia

El entorno del glaciar se caracteriza por la presencia de una importante variedad de flora y fauna, lo que da cuenta del importante valor ecológico de la biodiversidad presente en el lugar.

“[En el Glaciar Universidad] Está la segunda colonia más grande de loros trichahue. Ahí se hizo una reinserción del guanaco, entonces en toda esta zona puedes ver guanacos en su ambiente. Existen además lagartos y reptiles que son únicos de acá. Lagarto negro, matuastos y otros lagartos que no se ven en ninguna otra parte de Chile, o sea, tienen una riqueza endémica única.

Acá se producen también otros fenómenos súper importantes en términos de flora. Se mezclan los bosques que son de un clima más Mediterráneo, que son los que tenemos acá con especies de hoja dura, con los bosques que vienen del sur, que están en climas más húmedos, lluviosos. Entonces aquí podrás encontrar esa unión entre el bosque esclerófilo y el bosque templado lluvioso, tienes todas las especies de los bosques en un sólo territorio.” (Extracto de entrevista con Gerardo Monje, guía de montaña agencia “Glaciares de Colchagua”)

El sistema hidrológico que rodea al glaciar se compone por una red de lagunas de altura, algunas de ellas asociadas a rutas turísticas, y por el nacimiento del Río del Azufre, uno de los principales afluentes del Río Tinguiririca. Éste último recorre el valle central, suministrando de recurso hídrico a toda la zona del Valle de Colchagua, hasta desembocar finalmente en el Lago Rapel.

Por último, cabe mencionar que a un par de kilómetros de la base del glaciar, bajando por el Río San José se ubican dos centrales hidroeléctricas de paso que cuentan con el dominio de los derechos de agua de origen glaciar.

Contexto histórico

Las primeras expediciones científicas al Glaciar Universidad fueron realizadas a mediados de la década de 1950 por Louis Lliboutry. El objetivo de la travesía era reconocer la fuente del Río Cachapoal que había sido previamente identificada en fotografías aéreas capturadas por las fuerzas armadas de Estados Unidos años antes. Esto llevó a Lliboutry junto a dos estudiantes de la Universidad de Chile, Erik Klohn y Óscar González Ferrán, a recorrer un glaciar en aquel entonces innominado que se advertía como un “mar de hielo en medio de la cordillera de los Andes.” (Turrel, 2019). Luego de varios días de dura expedición a través de la compleja geografía del lugar, lograron finalmente llegar a lengua del glaciar, el que deciden bautizar como Glaciar Universidad en homenaje y agradecimiento a la Universidad de Chile y a su rector de entonces, Juan Gómez Millas, por haber brindado el apoyo necesario para la realización de esta expedición. A partir de su viaje, Lliboutry realiza las primeras observaciones y descripciones de esta masa de hielo.

“Al este de la Sierra del Brujo se extiende un gran glaciar que da nacimiento al Río San José, y que propongo llamar Glaciar Universidad, pues su tercer cruce y primer estudio científico lo hice en febrero-marzo 1956, con dos estudiantes de la Universidad de Chile. Entre 1945, fecha del levantamiento trimetrogon, y 1956 este glaciar ha retrocedido de 1 km y su nivel bajado considerablemente.” (Lliboutry, 1956)

Otro hito histórico que ha marcado la identidad del lugar fuera del ámbito científico es el denominado “Milagro de Los Andes”, que ocurre tras el accidente del avión de la Fuerza Aérea Uruguaya en el paso cordillerano entre Argentina y Chile, el cual se logró rescatar a 16 sobrevivientes 72 días después de la tragedia. Las dos personas que lograron conseguir ayuda bajaron desde la montaña por la Quebrada San Hilario, a un costado de la base del glaciar para luego ser encontrados por un arriero de la zona en el sector de Los Maitenes. Hoy en día existe interés por impulsar un proyecto turístico que permita recorrer la ruta del quebrada a través de actividades de montañismo.

Particularidad del caso

Como en la mayoría de los glaciares de la zona central, el Glaciar Universidad corresponde a uno de los principales reservorios de agua dulce para la sexta región que permite la subsistencia de los asentamientos urbanos y rurales y el desarrollo social y económico de las comunidades, especialmente aquellas que se sitúan en el Valle de Colchagua.

“Mucha gente vive gracias a esta agüita, sobreviven porque da trabajo. A mí mismo. Yo si acá no hubiese agua no tendría trabajo. Puedes tener el campo que sea, pero si no hay agua no puede sembrar, no puedes plantar las viñas y acá la zona de Colchagua es bien conocida por todas las viñas que hay y sin esas viñas no hay trabajo para la gente, así que es una cadena que se va formando gracias al agua.

[...] Gracias a este glaciar que tenemos acá nuestros animales tienen agua para beber y nosotros podemos mantenernos de eso. Si no hay agua, no hay animales y menos va a haber gente que cuide a los animales.”

(Extracto testimonio arriero Miguel Cepeda para programa “La Ruta del Agua” Canal 13, 2022. Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=5BKg--FG24Y>)

Parte importante de la población de la zona depende de la existencia de este glaciar, por ejemplo para la realización de las veranadas de los arrieros y para sustentar el rubro turístico asociado a las actividades de montañismo.

Hoy en día, el Glaciar Universidad, pese a su cercanía a los principales centros urbanos del país y el antecedente histórico que refleja el interés científico en estudiarlo, aún es considerado como un territorio en su mayoría inexplorado, con muchas cumbres y rutas sin nombre con expediciones pendientes. El carácter desconocido de muchos lugares, sumado a la importancia que significa su estudio para comprender el impacto del cambio climático y las consecuencias que éste tiene sobre la población del valle central de la región de O'Higgins plantean el desafío de pensar en la manera de poder habitarlo para cumplir con estos fines, pudiendo la arquitectura involucrarse en dar respuesta ante esta necesidad, pero por sobretodo a partir de la reflexión en torno a las posibilidades de exploración que ofrece el fenómeno de la habitabilidad en condiciones extremas.



Figura 9: Louis Liboutry recorriendo el Glaciar Universidad
Fuente: <https://www.actumontagne.com/people/louis-liboutry-le-champollion-des-glaces/>

Arquitectura extrema

La hostilidad y complejidad de ciertos territorios no ha sido un impedimento para la llegada de la arquitectura. Por el contrario, la dificultad en las condiciones de habitabilidad se ha convertido en una oportunidad para la arquitectura, la ingeniería y la construcción de imaginar nuevas soluciones y posibilidades que relevan la importancia en la eficiencia material y de recursos como un pilar clave para el desarrollo sostenible en contextos extremos, dejando entrever la curiosidad y el afán de la especie humana por explorar y descubrir lo desconocido. Entre las principales actividades que impulsan la construcción de este tipo de arquitectura se encuentra el turismo, a través de los refugios, y la investigación científica.

A continuación se presentan dos categorías de arquitectura extrema que ejemplifican las formas de posicionamiento en distintas condiciones geográficas y climáticas complejas que implican el aislamiento del habitar.

Arquitectura en alta montaña

Los desafíos que presenta habitar la alta montaña se relacionan con considerar la topografía, los accesos, el clima, el suelo, la geografía del lugar y los ascensos realizados como variables al momento de pensar la arquitectura en estos entornos.

En este sentido, quienes han sido pioneros en el diseño de refugios y módulos habitables en Chile ha sido la Unidad de Arquitectura Extrema "ARQ-X" de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), quienes declaran entre sus principios la importancia de la creación, la innovación y la construcción de espacios que permitan la experiencia de la expedición a lugares inhóspitos y muchas veces desconocidos. Todo lo anterior desde el ingenio tecnológico y una mirada altamente tecnificada.

"Cobijar todo esto, con una mirada sustentable del territorio, aprovechando los recursos y energías del lugar, causando el menor impacto ambiental en el lugar mismo, con sistemas transportables, plegables y desplegables [...]" (ARQ-X Unidad de Arquitectura Extrema, s.f).

A continuación se expone a modo de ejemplo el refugio construido en el Glaciar Jotabeche, ubicado en la región de Coquimbo en conjunto con la Unidad de Glaciología y Nieves de la DGA. Consiste en una cápsula modular sustentable para el monitoreo del glaciar diseñada para dar cobijo a cuatro científicos. El diseño del refugio se sustenta sobre la idea de una sistema ensamblable, de fácil pieza y despiece, que permita el transporte terrestre o aéreo a largas distancias, un fácil armado con el uso de herramientas simples y el posicionamiento del habitáculo en el terreno sin necesidad de intervención. *"Usando una fuerte aislación térmica, ventilación natural regulada, energía solar para el manejo de agua y energía eléctrica fotovoltaica y un sanitario solar seco, los sistemas que se integran a la cápsula la hacen altamente sustentable en zonas remotas"* (ARQ-X Unidad de Arquitectura Extrema, s.f).

Este ejemplo permite reconocer a priori los lineamientos fundamentales que definen el campo de acción de la arquitectura en contextos de alta montaña, donde la sustentabilidad, la eficiencia energética y la mínima intervención del lugar se instalan como los más importantes.

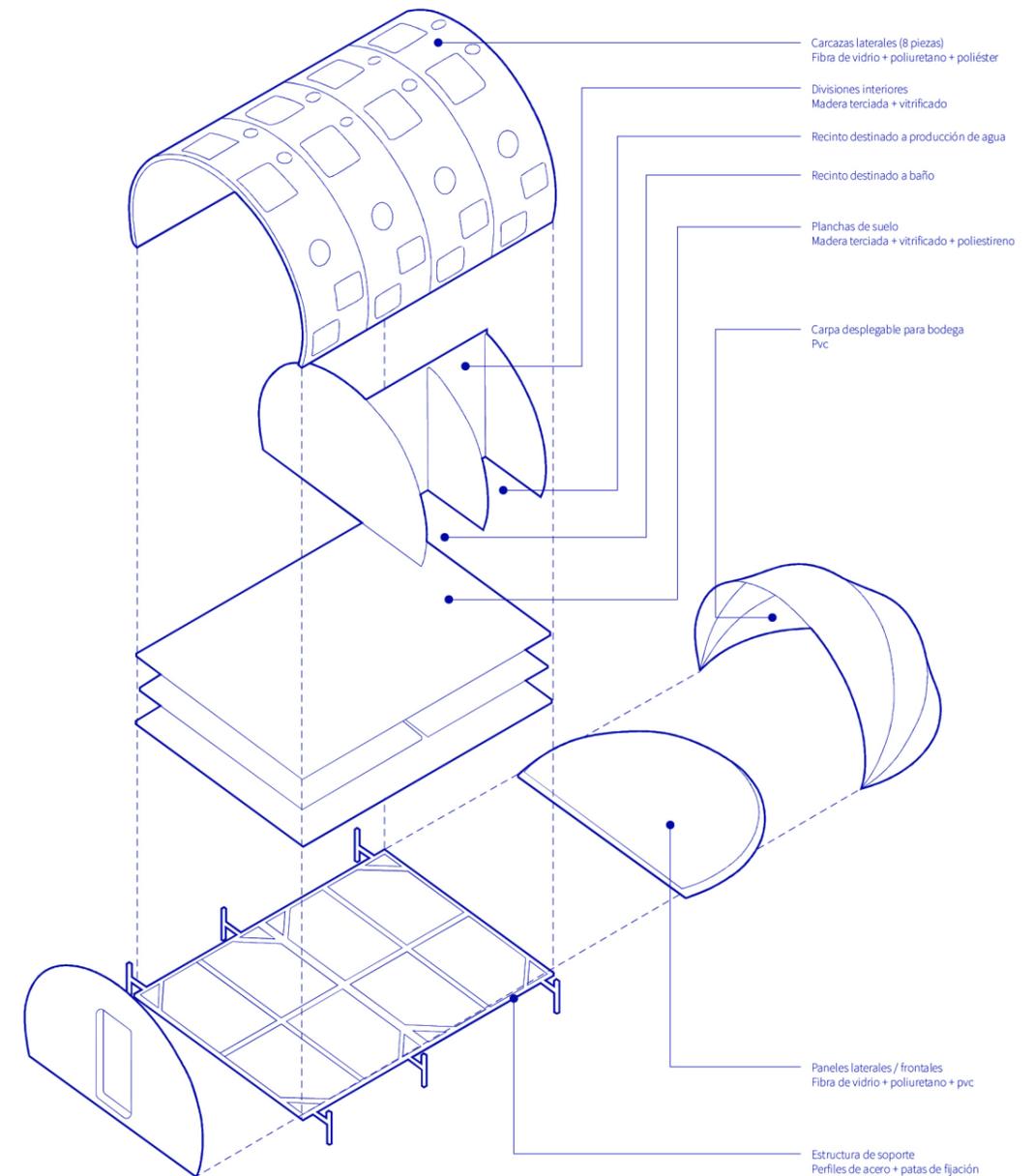


Figura 10: Avonométrica explotada componentes y materiales constructivos refugio Glaciar Jotabeche.
Fuente: Elaboración propia en base a imagen referencial

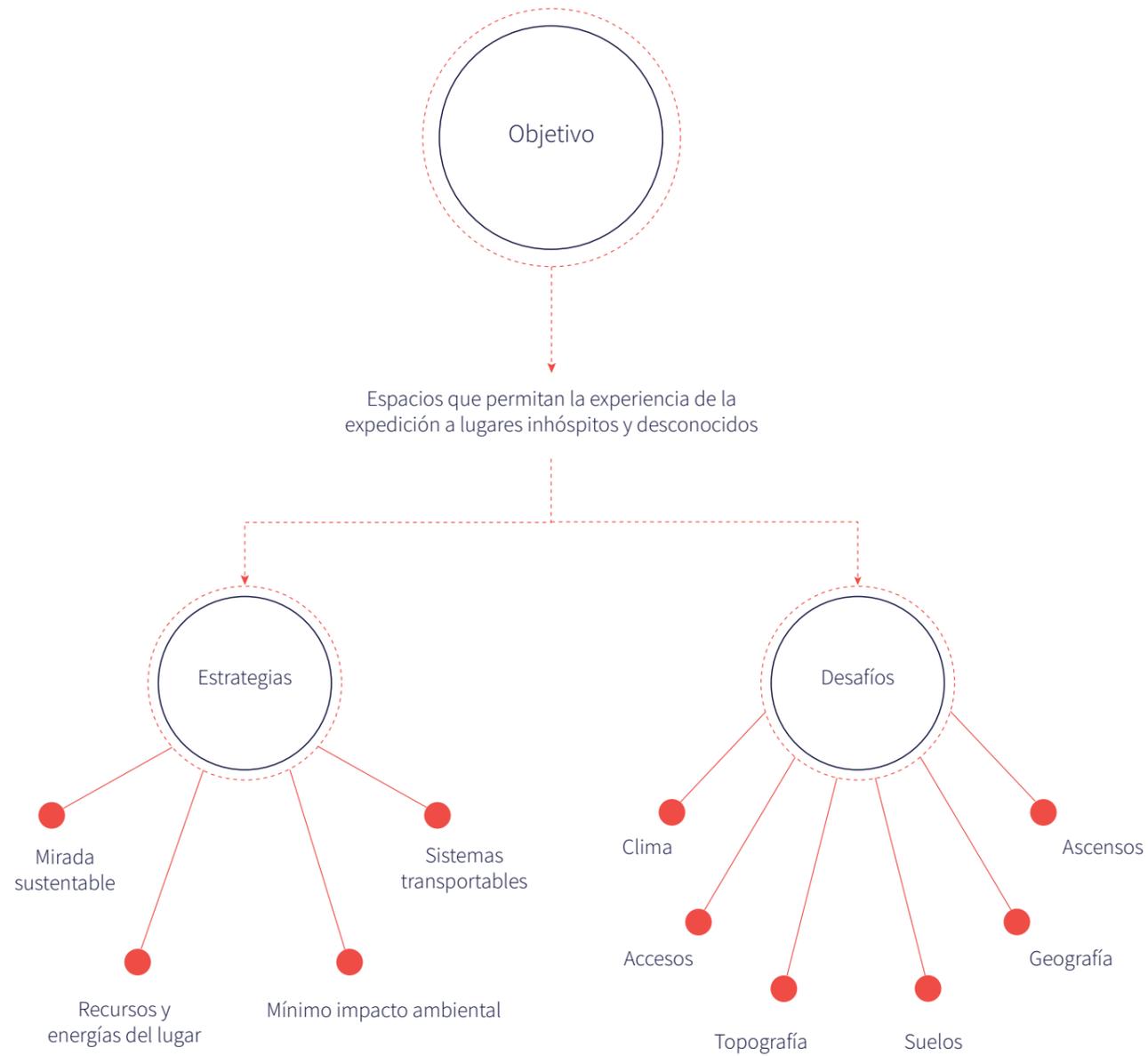


Figura 11: Principios arquitectura en alta montaña Unidad de Arquitectura Extrema "ARQ-X" UTFSM. Fuente: Elaboración propia.

Arquitectura para la ciencia

El medio natural y sus paisajes no sólo ha sido aprovechado por la sociedad con fines económicos y productivos a través de su explotación, sino que también como una importante fuente de conocimiento con el fin de entender el entorno en el que nos situamos. Desde las avanzadas infraestructuras que se ubican en el norte de Chile para la observación astronómica hasta los centros de investigación antárticos, se ha impulsado a lo largo de todo el país una red de infraestructuras para el estudio medioambiental que han permitido la construcción y transmisión de redes de conocimiento con impacto a escala regional, nacional y mundial.

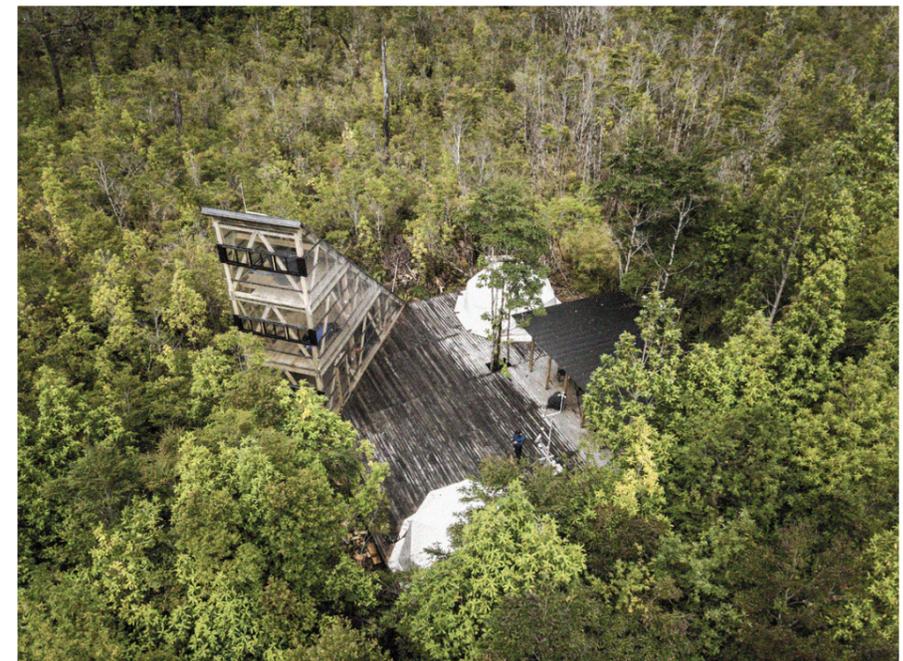


Figura 12: Estación Patagonia UC. Fuente: <https://geografia.uc.cl/noticias/2443-presentan-resultados-de-cuatro-anos-de-investigacion-en-estacion-patagonia-uc>

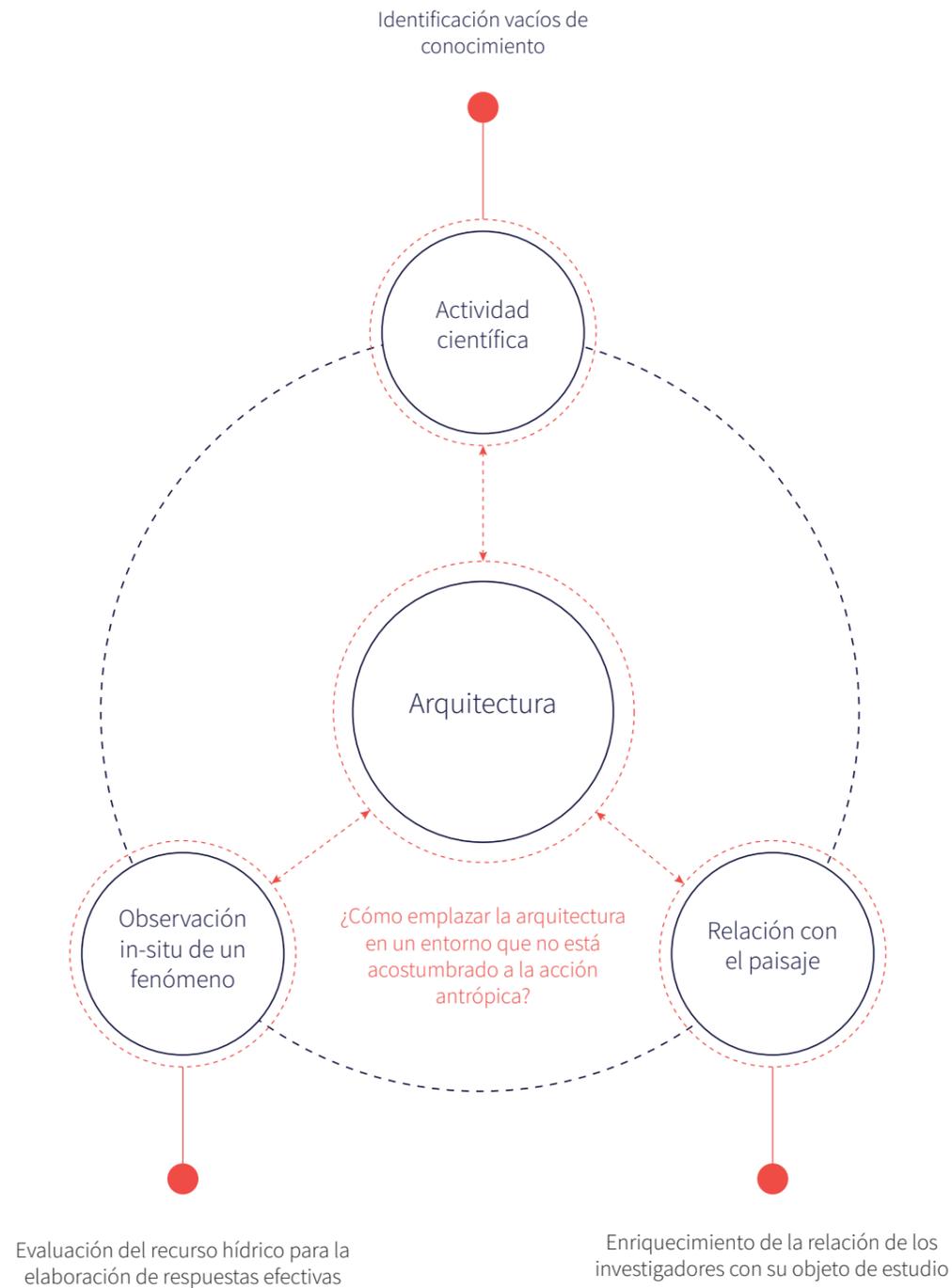


Figura 13: Esquema de síntesis relación entre arquitectura y actividad científica.
Fuente: Elaboración propia

Arquitectura y ciencia en Chile

La investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico en Chile son principalmente promovidos por diversos instrumentos y programas que administra y ejecuta la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID; ex CONYCID), entidad pública que depende del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación y a través de la cual se busca apoyar con recursos el desarrollo científico y la innovación de acuerdo con las directrices establecidas en la Política Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación y la Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo de Chile.

Los desafíos a nivel país son abordados mediante la implementación de cinco subdirecciones: Capital Humano; Proyectos de Investigación; Centros de Investigación Asociativa; Investigación Aplicada e Innovación y Redes, Estrategia y Conocimiento. Es de particular interés la labor que realiza la Subdirección de Centros e Investigación Asociativa (SCIA) pues su objetivo es “[...] impulsar la colaboración en la investigación desarrollada en el país, a través del financiamiento, coordinación y vinculación de una red de grupos y centros de excelencia en investigación de frontera y desarrollo tecnológico, con presencia nacional e impacto global.” (Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo [ANID], s.f.). Este quehacer sigue los lineamientos estipulados en la Política Nacional y el Plan Nacional de Centros de Excelencia del Ministerio, los cuales buscan la generación y fortalecimiento de una red de investigación a nivel nacional a través de su coordinación y financiamiento. Se reconoce como principales beneficiarios a grupos de investigadores, instituciones sin fines de lucro (incluye centros de investigación, centros tecnológicos independientes, institutos públicos, fundaciones y corporaciones) y universidades en alianza con otros actores.

Los centros que cuentan con el apoyo ANID se clasifican en Centros Basales, Centros de Educación, Centros de Excelencia Internacional, Centros de Servicios, Centros Fondap, Centros Regionales, Centros Tecnológicos, Institutos Milenio y Núcleos Milenio. Cabe destacar que parte importante del trabajo de investigación es realizado desde las universidades, por lo que sus centros operativos se encuentran en las dependencias de las distintas casas de estudio.

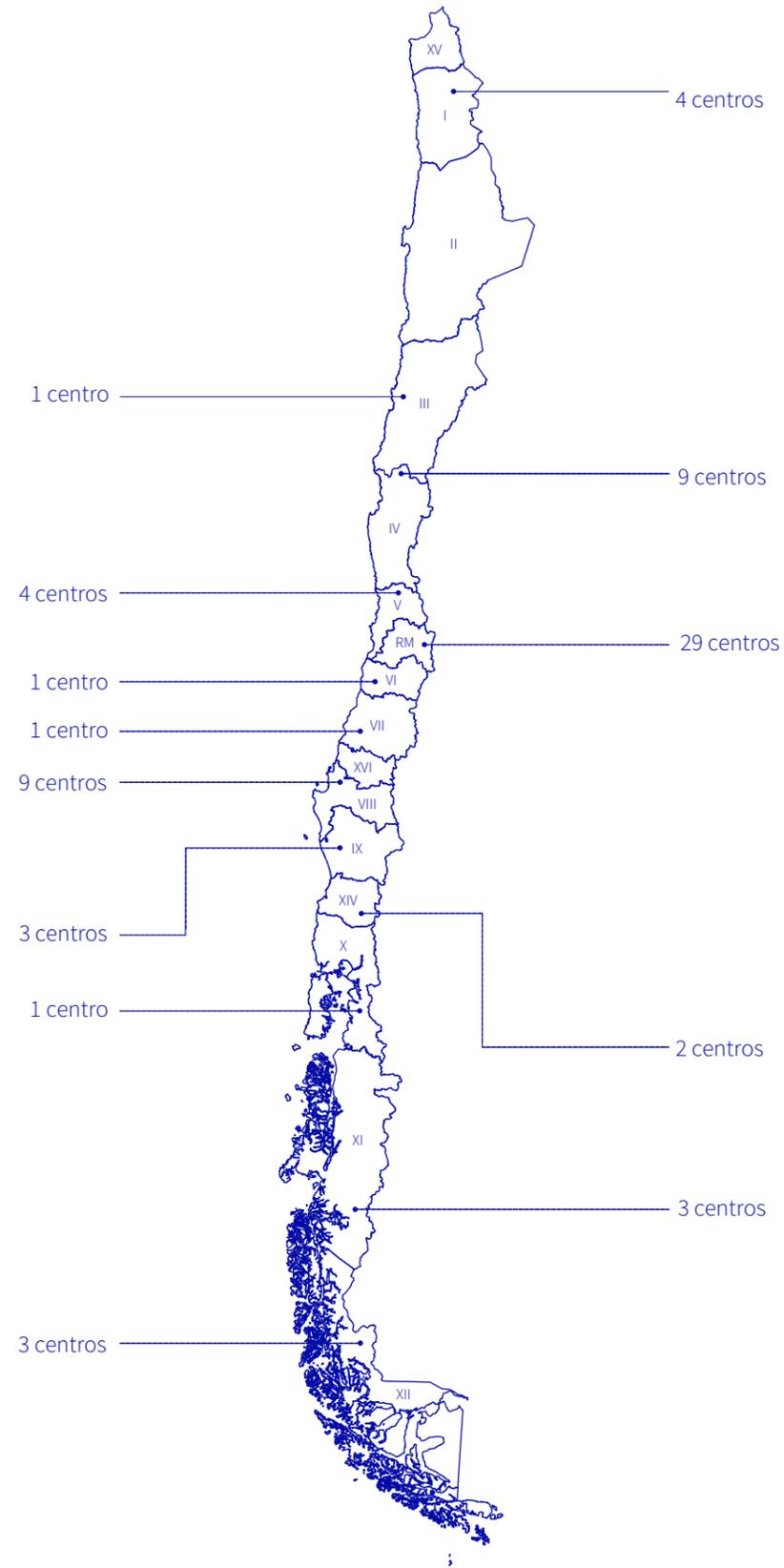


Figura 14: Mapa catastro centros de investigación en Chile.
Fuente: Elaboración propia

En el esquema presentado se puede observar que la distribución de los distintos centros de investigación a lo largo del país es más o menos homogénea. Sin embargo, si nos detenemos en la cantidad de centros que posee cada región, es posible notar cómo las regiones del norte y patagonia cuentan con una mayor concentración de la infraestructura científica, mientras que en la zona central éstos se distribuyen de forma más dispersa. Uno de los motivos que explican esta situación es el creciente interés por parte de instituciones públicas y privadas de concentrar los esfuerzos de la investigación científica en estos paisajes extremos, como la Patagonia y el Desierto de Atacama, relegando a un segundo plano la zona central de Chile, pese a las amplias posibilidades que este territorio ofrece para la construcción de conocimiento.

“Claro, si te fijas todas esas estaciones están súper apartadas, como en lugares extremos. Puede que tenga que ver con la geografía extrema de Chile, el norte, el extremo sur... Pero nadie se interesa por la zona central ¿Y dónde está el mayor valor biológico, la mayor diversidad? En la zona central. Entre la quinta región y la sexta está lo más valioso que hay en Chile. Toda esa parte, desde el sur de la región de Coquimbo hasta Cantillana hacia el sur ahí está la zona de mayor diversidad biológica y además la zona más amenazada. Pero todo el mundo mira hacia los extremos.”
(Extracto de entrevista con Patricio Pliscoff, Profesor Asociado del Instituto de Geografía y del Departamento de Ecología de la Pontificia Universidad Católica de Chile)

Referentes

Halley VI: Estación de Investigación Británica en la Antártica

Hugh Broughton Architects es una de las oficinas responsables de los principales referentes de arquitectura en la Antártica y lugares remotos. Ha estado a cargo del diseño de importantes bases científicas para varios países, entre ellos Australia, Nueva Zelanda, España, Reino Unido, Corea del Sur y Brasil.

Entre sus obras más destacadas se encuentra la estación de investigación antártica Halley VI, propuesta ganadora del concurso internacional convocado por British Antarctic Survey para la construcción de su base científica más austral.

El diseño fue pensado para responder a los principios de supervivencia, capacidad de mantenimiento y sustentabilidad, permitiendo así que la estación funciones de forma segura y económica.

Con el fin de responder a las exigencias logísticas de construcción, operación y reabastecimiento, el proyecto se propone maximizar su flexibilidad y minimizar el impacto ambiental a través de la implementación del concepto de modularidad.

La solución arquitectónica plantea edificios modulares, semi autónomos, elevados sobre bases de ski, que pueden ser conectados de múltiples maneras, logrando así una estación con capacidad de adaptación y posibilidad de reubicación.

El proyecto se organiza en torno a un módulo central, que contiene los programas de áreas comunes y al cual se adosan el resto de programas de alojamiento, trabajo y producción energética. El edificio principal es considerado como el “corazón social” de la estación y es donde se ubican las zonas de recreación, comedores y salas de estar. Se considera el diseño de espacios interiores estimulantes con el fin de servir como soporte para el apoyo de investigadores y personal durante los largos períodos de invierno.



Figura 15: Estación Halley VI.
Fuente: <https://hbarchitects.co.uk/halley-vi-british-antarctic-research-station/>

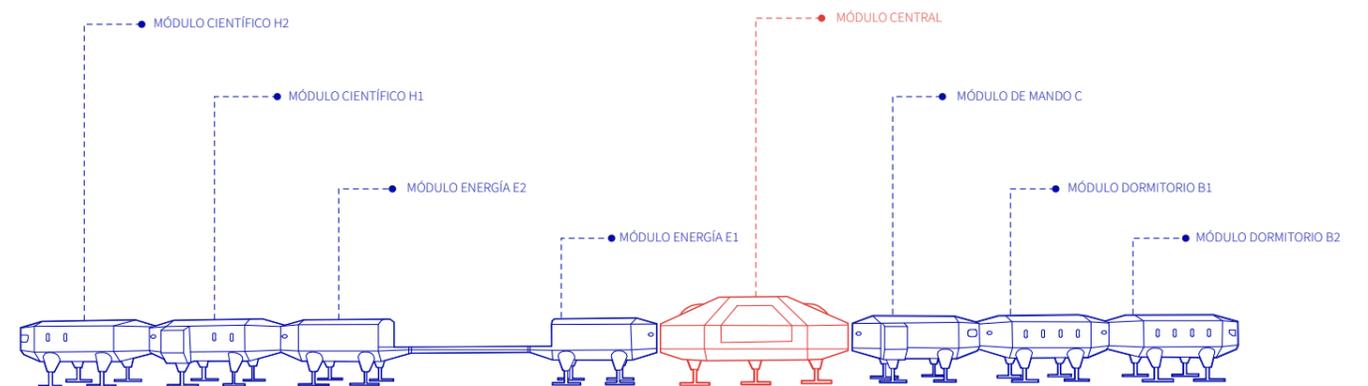


Figura 16: Esquema distribución programática.
Fuente: Elaboración propia

Cabinas Igloo

Las Cabinas Igloo han sido utilizadas en la Antártica y sub-Antártica como bases semi-permanentes y campamentos móviles. Se caracterizan por sus coloridas envolventes y por poseer en la actualidad un manual para su construcción a partir del ensamble de sus piezas.

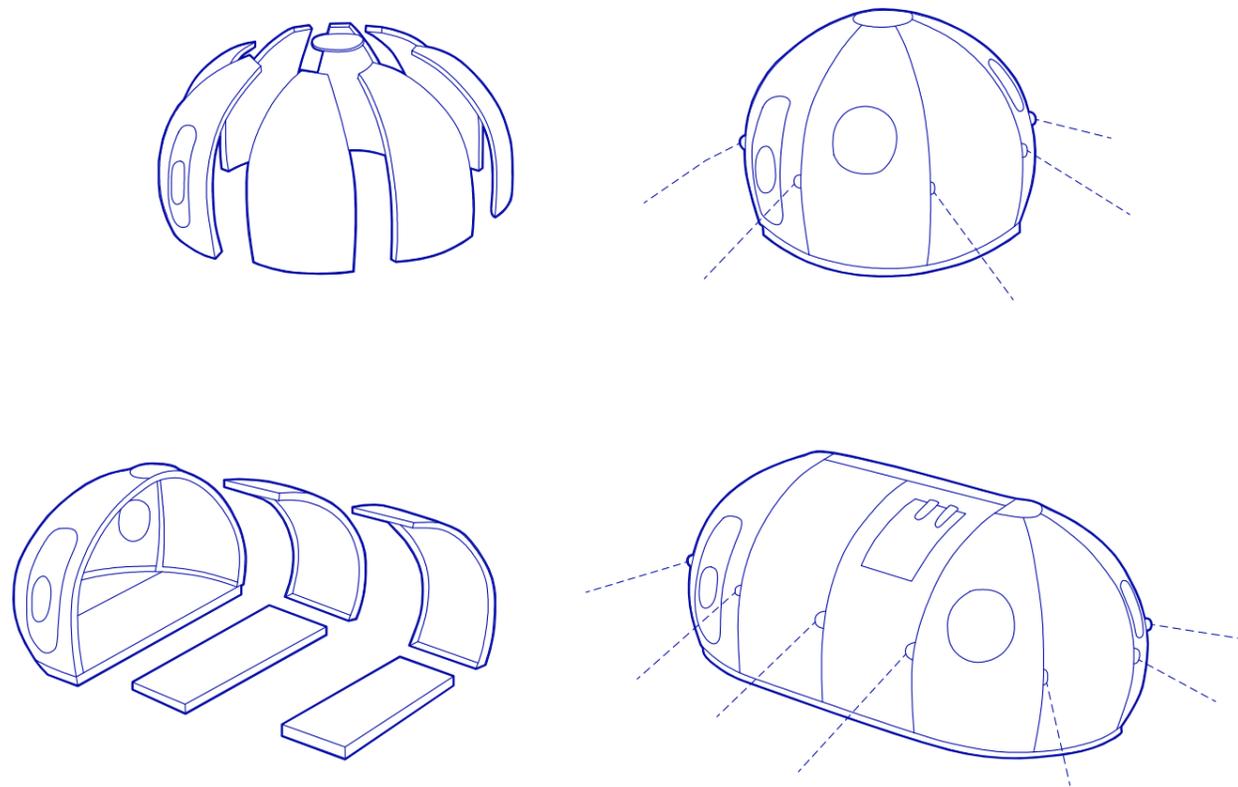


Figura 17: Esquema estructura modular.
Fuente: Elaboración propia en base a imagen referencial



Figura 18: Arriba: Igloo instalado en la Antártica.
Abajo: Traslado de Igloo a través de helicóptero
Fuente: <https://www.australiangeographic.com.au/wp-content/uploads/2022/12/1-1365x2048.jpg>

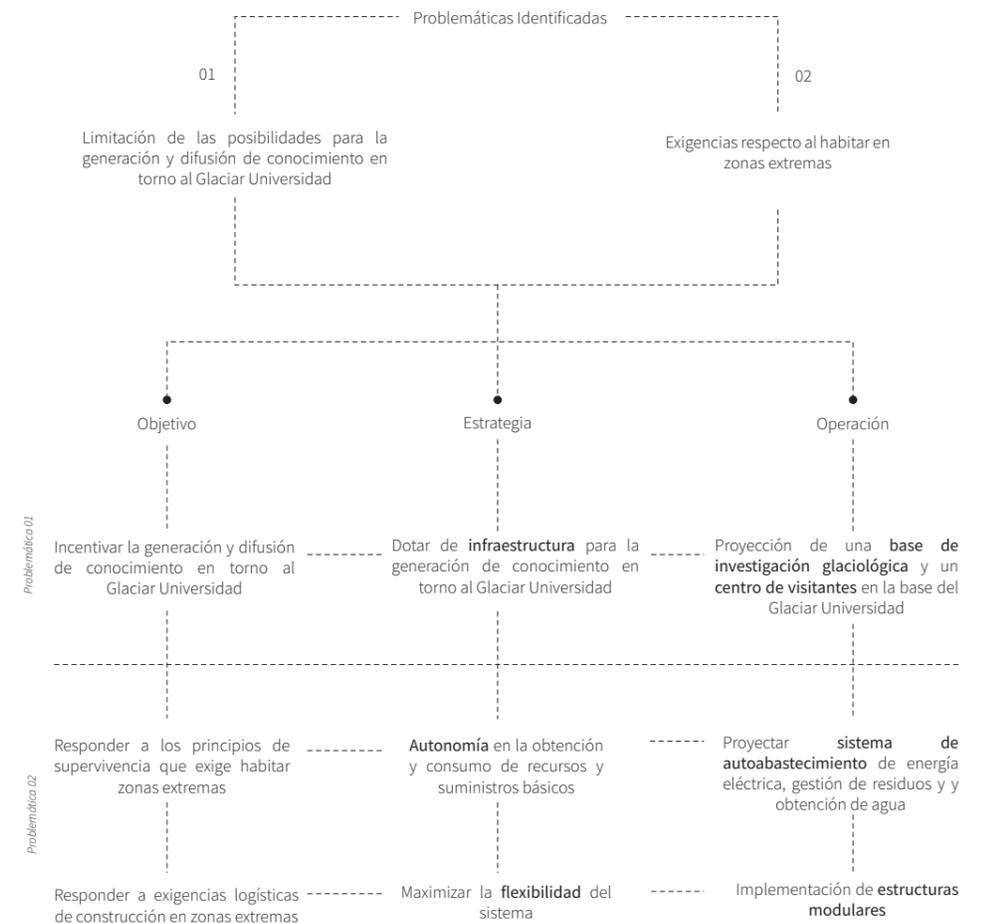
Lineamientos Generales de Diseño

El proyecto reconoce el valor natural y cultural del Glaciar Universidad, su fragilidad frente al aumento de las temperaturas y la sequía en la zona central de Chile, específicamente en la sexta región, a la vez que pretende responder a las limitaciones actuales que existen al minuto de producir conocimiento científico valioso en torno a este glaciar, en su mayoría debido a la falta de infraestructura para la ciencia y el estudio glaciológico.

Este tipo de investigación en particular requiere habitar zonas climáticas extremas. Por lo tanto, el proyecto se propone enfrentar las adversidades asociadas a estos entornos desde dos aristas principales: la supervivencia y la operación logística en lugares remotos.

Para ello se plantea una base de investigación glaciológica y un centro de visitantes para la producción y difusión del conocimiento en torno al Glaciar. El proyecto se concibe bajo la lógica modular, en función del traslado y montaje de las piezas hacia un entorno aislado como es el del glaciar, a la vez que se organiza y funciona bajo los principios de la autonomía para su abastecimiento y acceso a suministros básicos.

03. PROYECTO



Lugar

Se decide posicionar el proyecto en la base del glaciar debido a que es el punto más accesible y con las condiciones topográficas más óptimas al presentar una amplia planicie.

El lugar es atravesado en sentido este-oeste por el Río San José, el cual actúa como elemento divisor del área donde se pretende emplazar el proyecto. A su vez se realizó la identificación de todos los posibles puntos de riesgo que podía presentar el sitio dadas las condiciones geográficas asociadas a la presencia del glaciar, tales como zonas de riesgo de derrumbe, zonas de inundación del río y puntos con alta presencia de escombros arrastrados por el movimiento del hielo. Lo anterior conlleva al descarte de estas zonas de riesgo para la elección de un posible emplazamiento del proyecto.

Cabe declarar que la naturaleza móvil de la propuesta permite que ésta funcione en distintos contextos, siempre bajo la autoconstricción de mantenerse cerca del glaciar debido a la finalidad científica del programa.

De acuerdo con los testimonios que fue posible recopilar a partir de la conversación con investigadores del área de la glaciología, la decisión del lugar tiene que ver fundamentalmente con los objetivos de la expedición. En la base del glaciar, además de tener cercanía a la masa de hielo, se encuentran también varios otros hitos de interés relacionados con sedimentos glaciares que permiten datar la historia y evolución del glaciar, por lo que se propone situar el proyecto en un punto central entre todos ellos.



Figura 19: Vista hacia la base del Glaciar Universidad, lugar donde se disponen los campamentos de expedición.
Fuente: Javier Pérez Cotapós. Fotografía facilitada por "Glaciares de Colchagua"

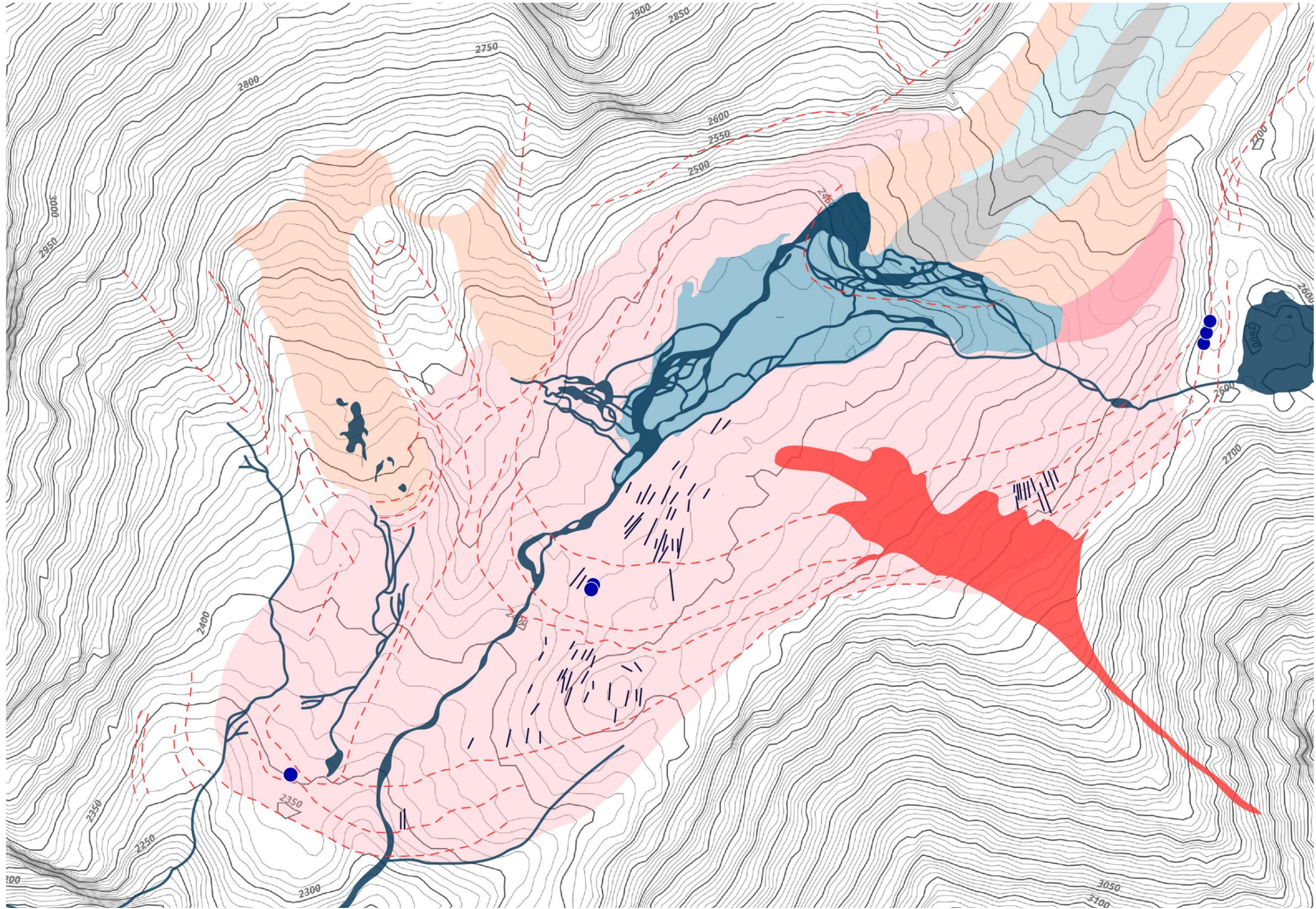


Figura 20: Plano identificación de riesgos presentes en la base del glaciar.
 Fuente: Elaboración propia en base a plano referencial

- Zona de riesgo de derrumbe
- Zona de inundación Río San José
- Río San José
- Flautas glaciares
- Glaciar cubierto de escombros
- Glaciar Universidad
- - - Morrenas

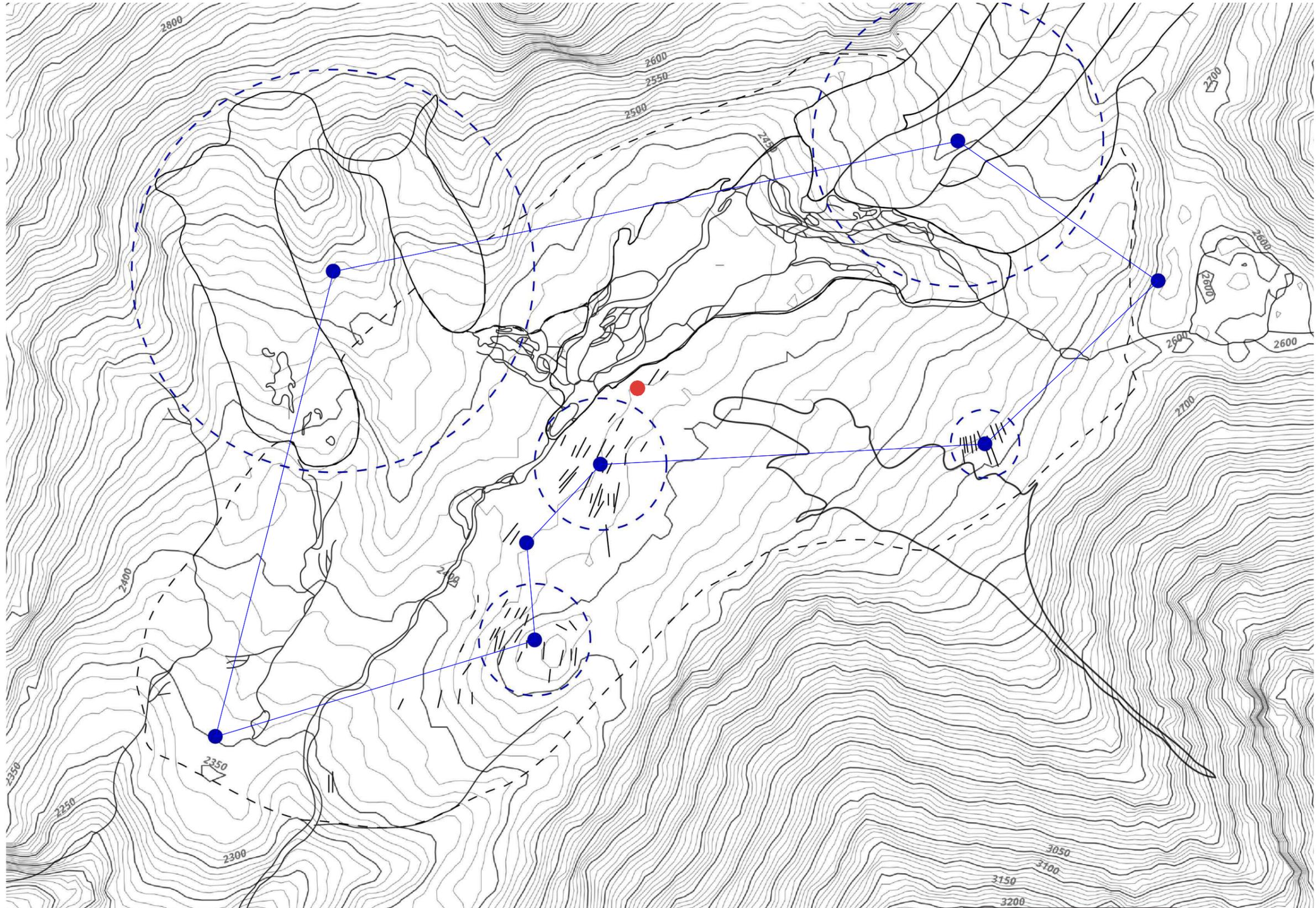


Figura 21: Plano síntesis estrategias ubicación proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

- Puntos de interés científico
- Ubicación proyecto

Estrategias de proyecto

A partir de la revisión de referentes, se definió para el proyecto 4 áreas programáticas relacionadas con las labores científicas y de investigación glaciológica. Éstas son:

1. Programas científicos que cuentan con espacio para laboratorios (incluyendo áreas para el almacenamiento de equipos, para el procesamiento y análisis de muestras e instalaciones de almacenamiento refrigerado) y oficinas.
2. Zonas de residencia para el alojamiento de científicos y personal de apoyo (incluye dormitorios e infraestructura sanitaria).
3. Áreas comunes que cuentan con cocina, comedores y salas de estar y descanso para las y los científicos.
4. Zona de producción eléctrica y gestión de desechos.
5. Centro de visitantes para la divulgación científica, el cual contará con sala de exposiciones, laboratorio interactivo, simulador de realidad virtual, sala de talleres y observatorio de glaciares.

La estrategia para organizar los módulos consiste en disponerlos en torno a las áreas comunes, las que son entendidas como el programa central que articula la propuesta.

Los módulos se elevan del nivel de piso a través de pilares con el fin de resguardar el sistema en tiempos de caídas de nieve, proporcionando también la posibilidad de nuevas vistas al paisaje en una mayor altura.

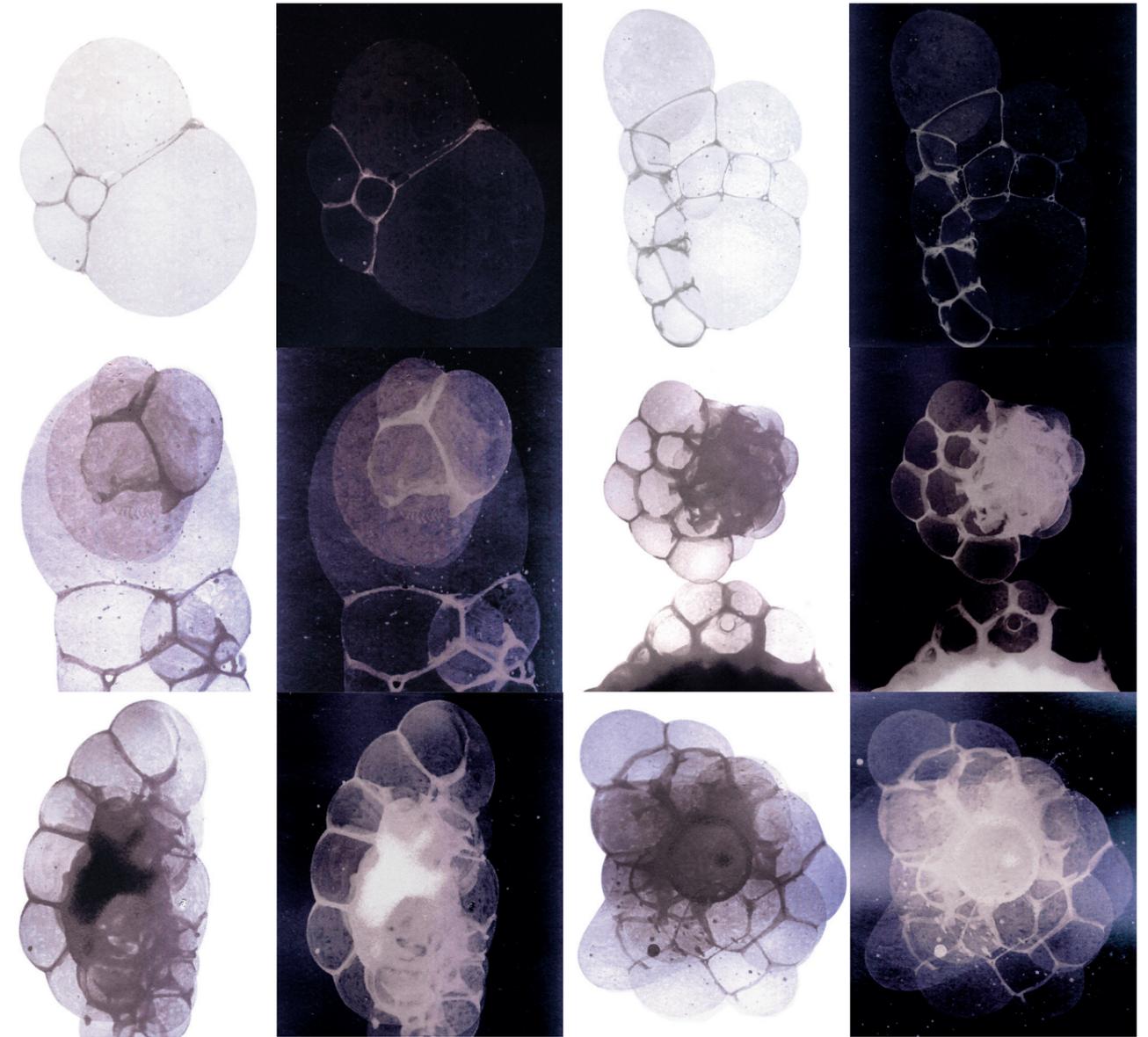


Figura 22: Registro exploración material y formal de proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

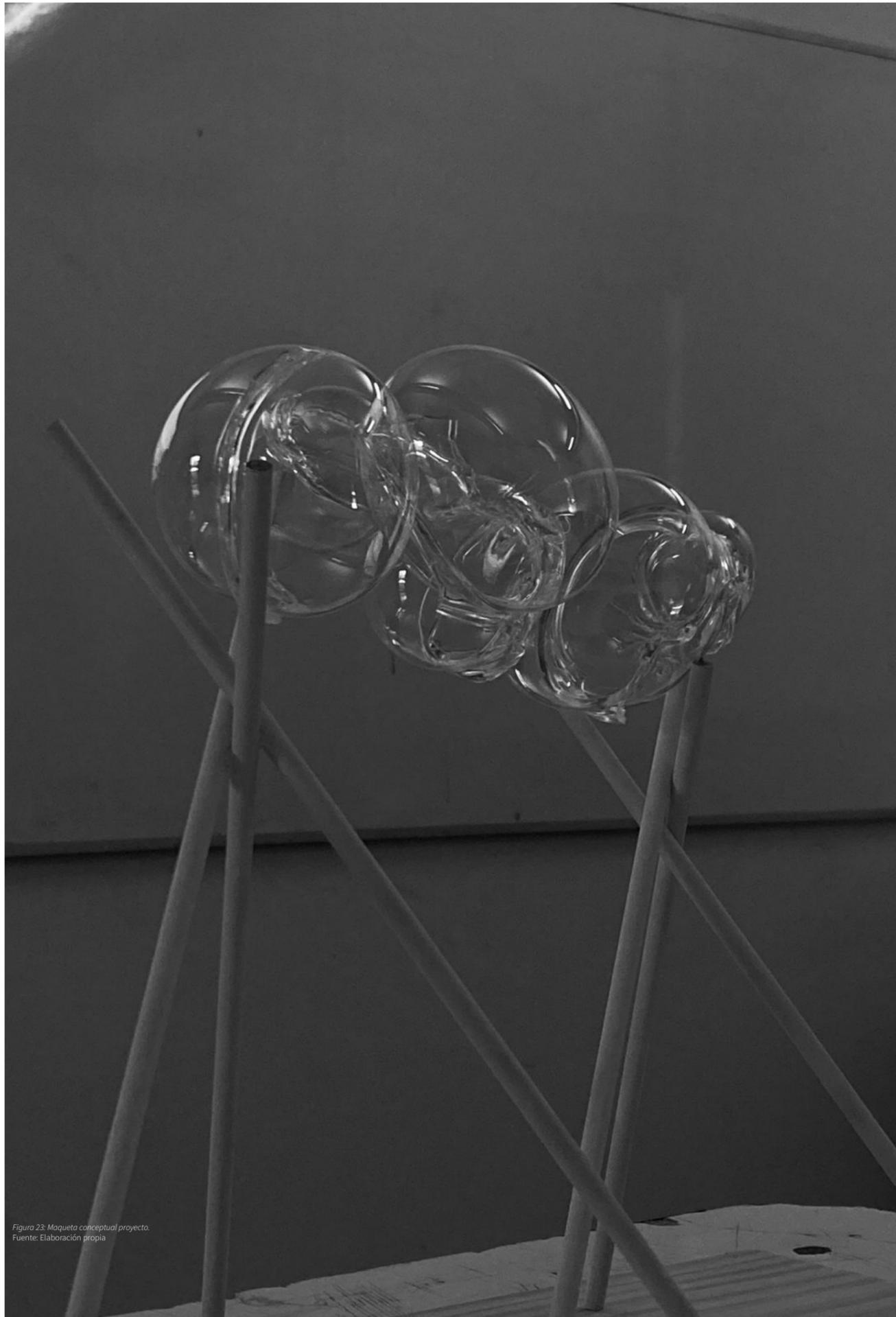


Figura 23: Maqueta conceptual proyecto.
Fuente: Elaboración propia

05. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo. (s.f.). Centros e Investigación Asociativa. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. <https://www.anid.cl/centros-e-investigacion-asociativa/>

ARQ-X Unidad de Arquitectura Extrema. (s.f.). ARQ-X Unidad de Arquitectura Extrema. Departamento de Arquitectura Universidad Técnica Federico Santa María. <https://silotips/download/arq-x-unidad-de-arquitectura-extrema-departamento-de-arquitectura-universidad-te>

Bórquez, R., Larraín, S., Polanco, R., & Urquidi, J. (2006) Glaciares chilenos: reservas estratégicas de agua dulce para la sociedad, los ecosistemas y la economía. LOM ediciones. https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29426/Glaciares_chilenos_reservas_estrategicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bravo, C., Loriaux, T., Rivera, A., & Brock, B. W. (2017). Assessing glacier melt contribution to streamflow at Universidad Glacier, central Andes of Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(7), 3249-3266. <https://hess.copernicus.org/articles/21/3249/2017/hess-21-3249-2017.pdf>

Gobierno Digital. (2020). Región del Libertador Bernardo O'Higgins. https://cdn.digital.gob.cl/public_files/Campa%C3%B1as/Cuenta-P%C3%BAblica-2020/CP-regionales/08-2020-REGION-DE-OHIGGINS.pdf

Gómez, M. (2021). Los gigantes de hielo de la Sierra del Brujo en la región de O'Higgins. Fundación Glaciares Chilenos. <https://www.glaciareschilenos.org/lugares/glaciares-de-la-sierra-del-brujo-los-hielos-de-la-region-de-ohiggins/>

Lliboutry, L. (1956). Nieves y glaciares de Chile: fundamentos de glaciología. Ediciones de la Universidad de Chile. Disponible en <https://libros.uchile.cl/1339>

Menéndez-Morán Bueno, Pedro (2020). Habitar sobre el oro negro: la calidad de vida en entornos muy agresivos. El caso de las plataformas petrolíferas. [Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S Arquitectura (UPM)] https://oa.upm.es/64903/1/TFG_Jun20_Menendez_Moran_Bueno_Pedro.pdf

Rivera, A., F. Bown, F. Napoleoni, C. Muñoz y M. Vuille (2016), Balance de masa glaciar. Ediciones CECs, Valdivia, Chile. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29247/libro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Turrel, M. (2019) El hombre que descifró los glaciares: Louis Lliboutry. Aguas Andinas. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26971/Luis%20Lliboutry%20-%20El%20Hombre%20que%20Descifr%C3%B3%20los%20Glaciares.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

UNESCO, IUCN (2022). World Heritage Glaciers: Sentinels of climate change, Paris, UNESCO; Gland, IUCN. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383551/PDF/383551eng.pdf.multi>

Zemp, M., Huss, M., Thibert, E. et al. (2019) Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature* 568, 382-386. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1071-0>

06. ANEXOS

II. Antofagasta

Observatorio ALMA*
Observatorio Ckoirama*
Observatorio Nayra*
Observatorio Paranal*

III. Atacama

Observatorio Las Campanas*

IV. Coquimbo

Observatorio La Silla*
Observatorio Gemini Sur*
Observatorio Soar*
Observatorio Tololo*
Corporación Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB)
Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA)
Centro AquaPacífico / UCN Coquimbo
Centro AquaPacífico / Unidad Tongoy

V. Valparaíso

Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (AC3E)
Centro Científico Tecnológico de Valparaíso (CCTVAL)
Centro Regional de Estudios en Alimentos y Salud (CREAS)
Centro de Innovación Hortofrutícola de Valparaíso (CERES)

Región Metropolitana

Centro de Biotecnología y Bioingeniería (CEBIB)
Centro de Modelamiento Matemático (CMM)
Centro de Excelencia en Astrofísica y Tecnologías Afines (CATA)
Fundación Ciencia para la Vida (Ciencia Vida)
Centro para el desarrollo de la Nanociencia y Nanotecnología (CEDENNA)
Centro de Tecnología para la Minería (AMTC)
Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI)
Centro de Ecología Aplicada y Sustentabilidad (CAPES)
Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera (CENAMAD)
Centro Nacional de Inteligencia Artificial (CENIA)
Center of Interventional Medicine for Precision and Advanced Cellular Therapy (IMPACT)
Centro internacional en Tecnología para Energía Solar de Fraunhofer en Chile (CSET)
Instituto Francés de Investigación en Ciencias y Tecnologías Digitales (Inria Chile)
LEITAT Chile
Centro de Energía Marina e Innovación (MERIC)
Centro de Excelencia de Minerales Sustentables (SMI Chile)
Centro de Innovación en Ciencias de la Vida (UC Davis Chile)
Laboratorio Nacional de Computación de Alto Rendimiento (NLHPC)
Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación (Bioterio)
Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA)
Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)
Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales (CIGIDEN)
Centro de Investigación en Energía Solar (SERC-Chile)
Centro de Estudios Avanzados en Enfermedades Crónicas (ACCDIS)
Centro de Gerociencia, Salud Mental y Metabolismo (GERO)
Centro de Biotecnología Traslacional (CBT) (Sofofa HUB)
Centro Nacional en Sistemas de Información en Salud (CENS)
Centro Interdisciplinario para la Productividad y Construcción Sustentable (CIPYCS)
Data Observatory (DO)

VI. O'higgins

Centro de Estudios Avanzados en Fruticultura (CEAF)

VII. Maule

Centro de Estudios en Alimentos Procesados (CEAP)

VIII. Bío Bío

Unidad de Desarrollo Tecnológico UDEC (UDT)
Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur Oriental (COPAS)
Centro de Ecología Aplicada y Sustentabilidad (CAPES)
LEITAT Chile
Centro de Microscopía Avanzada (CMA)
Centro de Instrumentación Oceanográfica (CIO)
Centro Interdisciplinario de Investigación en Acuicultura Sustentable (INCAR)
Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y Minería (CRHIAM)
Centro de Investigación de Polímeros Avanzados (CIPA)

IX. Araucanía

Centro de Ecología Aplicada y Sustentabilidad (CAPES)
Centro de Capacitación e Investigación Analítica en Gestión de Servicios (SmartC-Bioren)
Centro de Genómica Nutricional Agroacuícola (CGNA)

XIV. Los Ríos

Centro de Ecología Aplicada y Sustentabilidad (CAPES)
Centro de Investigación. Dinámica de Ecosistemas Marinos de Altas Latitudes (IDEAL)

X. Los Lagos

Corporación Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB)

XI. Aysén

Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur Oriental (COPAS) / Laboratorio de Oceanografía Costera Tortel
Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur Oriental (COPAS) / Laboratorio y Oficinas en Alto Baguales
Centro de Investigación en Ecosistemas de La Patagonia (CIEP)

XII. Magallanes y la Antártica

Centro Cabo de Hornos (CHIC)
Centro de Investigación. Dinámica de Ecosistemas Marinos de Altas Latitudes (IDEAL)
Centro de Estudios del Cuaternario de Fuego-Patagonia y Antártica (CEQUA)

Observación:

Aquellos centros que se indican con * corresponden a infraestructuras gestionadas y financiadas por privados. El resto de los centros en la lista reciben apoyo por parte de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID)