



REPÚBLICA DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

# RECOMENDACIONES PARA LA FORMACIÓN DE LA UNIDAD DE NIEVES Y GLACIARES.

## INFORME

REALIZADO POR:

CEDOMIR MARANGUNIC DAMIANOVIC  
GEÓLOGO, PH.D.

S.I.T. N° 143

Santiago, Diciembre de 2007

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

Ministro de Obras Públicas, Transportes y Telecomunicaciones

Ingeniero Civil Industrial Sr. Sergio Bitar C.

Director General de Aguas

Abogado Sr. Rodrigo Weisner L.

Jefe División de Hidrología

Ingeniero Civil Sr. Javier Narbona

Profesional a cargo

Ingeniero Civil Sr. Fernando Escobar

**CEDOMIR MARANGUNIC DAMIANOVIC**

Geólogo, Ph. D.

***DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS-MOP***

**RECOMENDACIONES PARA LA  
FORMACIÓN DE LA UNIDAD DE  
NIEVE Y GLACIARES.**

**Informe, v. 2008-02-012.**

**Diciembre 2007**



**GEOESTUDIOS**



## I. INDICE.

	<b>Página</b>
I. INDICE.....	i
II. INFORME.....	1-1
1. INTRODUCCIÓN.....	1-1
1.1. OBJETIVO.....	1-1
1.2. ANTECEDENTES.....	1-1
1.2.1. ¿Qué son los glaciares? .....	1-1
1.2.1.1. Características.....	1-1
1.2.1.2. Clasificación y ocurrencia.....	1-10
1.2.1.3. Variaciones naturales y antrópicas (por intervención) de los glaciares.....	1-11
1.2.1.3.1 Variaciones naturales.....	1-11
1.2.1.3.2 La intervención de glaciares.....	1-12
1.2.2. ¿Porqué importan los glaciares? .....	1-13
1.2.2.1. Fuentes y reservas de agua dulce, y reguladores de caudales. ....	1-13
1.2.2.2. Valor paisajístico.....	1-15
1.2.2.3. Biodiversidad.....	1-15
1.2.3. ¿Porqué un servicio de nieve y glaciares en Chile? .....	1-16
1.2.3.1. ¿Porqué en Chile?.....	1-16
1.2.3.2. ¿Porqué un servicio de nieve y glaciares en la DGA?.....	1-17
1.2.3.2.1 Aspectos generales.....	1-17
1.2.4. La legislación y organización para nieve y glaciares en otros países.....	1-18
1.2.4.1. La legislación referente a glaciares en otros países.....	1-18
1.2.4.1.1 Argentina.....	1-18
1.2.4.1.2 Austria.....	1-19
1.2.4.1.3 Canadá.....	1-19
1.2.4.1.4 Estados Unidos de Norte América.....	1-20
1.2.4.1.5 Francia.....	1-21
1.2.4.1.6 Irán.....	1-22
1.2.4.1.7 India.....	1-23
1.2.4.1.8 Italia.....	1-23
1.2.4.1.9 Japón.....	1-24
1.2.4.1.10 Kirgistan.....	1-25
1.2.4.1.11 México.....	1-26
1.2.4.1.12 Noruega.....	1-26
1.2.4.1.13 Nueva Zelanda.....	1-27
1.2.4.1.14 Pakistán.....	1-28
1.2.4.1.15 Suiza.....	1-29
1.2.4.2. Resumen de la legislación en otros países.....	1-30
1.2.4.3. La Convención Alpina de 1991 y el Protocolo para el	



Agua de 2003.....	1-31
1.2.4.4. La organización para la nieve y glaciares en otros países. ....	1-32
1.3. LIMITACIONES.....	1-35
2. LAS ORGANIZACIONES ACTUALES PARA LA NIEVE Y GLACIARES EN CHILE.....	2-1
2.1. INSTITUCIONES DEL ESTADO.....	2-1
2.1.1. Comisión Nacional del Medio Ambiente.....	2-1
2.1.2. Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas.....	2-2
2.1.3. Servicio Agrícola y Ganadero.....	2-6
2.1.4. Corporación Nacional Forestal.....	2-7
2.2. LA LEGISLACIÓN NACIONAL.....	2-8
2.2.1. Estado actual.....	2-8
2.2.2. Proyecto de ley, 2005.....	2-10
2.2.3. Moción en el Senado sobre valoración y protección de glaciares, 2006.....	2-10
2.2.4. Propuesta de Política Nacional de Glaciares.....	2-11
2.3. CENTROS DE ESTUDIO E INVESTIGACIÓN.....	2-11
2.4. SERVICIOS PROFESIONALES Y EMPRESAS.....	2-13
2.5. LOS COMPROMISOS INTERNACIONALES DE CHILE.....	2-14
2.5.1. La Convención sobre los Humedales.....	2-14
2.5.2. El Tratado Chile-Canadá para la Cooperación Ambiental.....	2-14
2.5.3. El territorio antártico.....	2-15
3. PLAN DE TRABAJO 2008 – 2011.....	3-1
3.1. TAREAS QUE DEBE ABORDAR LA UNG.....	3-1
3.1.1. Listado de tareas.....	3-1
3.1.2. Breve descripción de las tareas y sus prioridades.....	3-2
3.1.3. Plan de trabajo 2008-2011.....	3-9
4. INSTRUMENTAL, EQUIPAMIENTO Y SOFTWARE.....	4-1
4.1. ASPECTOS GENERALES.....	4-1
4.2. EL EQUIPAMIENTO DE LAS SEDES.....	4-1
4.2.1. Las oficinas.....	4-1
4.2.2. Los materiales y equipos para terreno.....	4-3
4.2.2.1. Instrumentos.....	4-3
4.2.2.2. Equipos de montaña y seguridad.....	4-5
4.2.2.3. Refugios.....	4-6
4.3. EL EQUIPAMIENTO DE LA OFICINA CENTRAL DE LA UNG EN SANTIAGO.....	4-7
4.4. ESPECIFICACIONES de instrumentos glaciológicos.....	4-8
4.4.1. Ítems de importación.....	4-8
4.4.2. Ítems de construcción o compra en Chile.....	4-11
5. IDENTIFICACIÓN DE INFORMACIÓN Y ANTECEDENTES.....	5-1
5.1. RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES.....	5-1
5.2. MAPAS.....	5-2
5.3. IMÁGENES.....	5-2
6. METODOS DE MEDICION.....	6-1



6.1.	RECOMENDACIONES Y ESTÁNDARES PARA EL MONITOREO DE GLACIARES SEGÚN GTN-G.....	6-1
6.2.	FLUCTUACIONES DE GLACIARES Y BALANCE DE MASA.....	6-2
6.3.	COMPILACIÓN DE DATOS DE FLUCTUACIONES DE GLACIARES.....	6-3
6.4.	RECOMENDACIONES UNESCO PARA INVENTARIO DE GLACIARES.....	6-3
6.5.	INVENTARIO DE GLACIARES SEGÚN INICIATIVA GLIMS.....	6-4
6.6.	OTRAS RECOMENDACIONES.....	6-4
7.	TERMINOS DE REFERENCIA PARA CATASTRO DE GLACIARES.....	7-1
7.1.	RECOMENDACIÓN DE NORMA.....	7-1
7.2.	REFERENCIAS PARA LAS RECOMENDACIONES UNESCO.....	7-3
7.3.	EL PROBLEMA DE LOS GLACIARES DE ROCA.....	7-4
7.3.1.	Aspectos generales.....	7-4
7.3.1.1.	La clasificación de UNESCO.....	7-4
7.3.1.2.	Clasificación primaria de glaciares.....	7-5
7.3.1.3.	Clasificación según la forma del glaciar.....	7-6
7.3.1.4.	Clasificación según las características del frente del glaciar: .....	7-7
7.3.1.5.	Clasificación según el perfil longitudinal del glaciar.....	7-8
7.3.1.6.	Clasificación según la temperatura de la masa de hielo.....	7-9
7.3.1.7.	Clasificación según la forma en que se unen dos o más lenguas glaciares.....	7-11
7.3.2.	Las impurezas en los glaciares.....	7-12
7.3.3.	Proposición de clasificación de glaciares según contenido (o grado) de impurezas.....	7-19
7.3.4.	Otras características de los glaciares de roca.....	7-21
7.4.	AREAS A REVISAR EN UN CATASTRO DE GLACIARES.....	7-22
7.5.	ESPEJOR MEDIO Y DENSIDAD DE GLACIARES.....	7-25
8.	UBICACIÓN DE ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS Y METEOROLÓGICAS.....	8-1
8.1.	ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	8-1
8.2.	ESTACIONES LIMNIGRÁFICAS.....	8-2
9.	ORGANIZACIÓN DE LA UNIDAD DE NIEVES Y GLACIARES.....	9-1
9.1.	ORGANIZACIÓN PARA EJECUTAR LAS TAREAS.....	9-1
9.1.1.	Aspectos generales.....	9-1
9.1.2.	Organización.....	9-2
9.2.	PERSONAL DE LA UNIDAD.....	9-3
9.2.1.	El personal y su organización.....	9-3
9.2.2.	Capacitación del personal.....	9-5
III.	ANEXOS.....	1
1.	ANTECEDENTES PARA DESCRIBIR LA LINEA BASE DE UN GLACIAR.....	2
1.1.	ASPECTOS GENERALES.....	2
1.2.	INFORMACIÓN BÁSICA DEL ENTORNO.....	2
1.2.1.	Cartografía e imágenes.....	2
1.2.2.	Clima.....	2
1.2.3.	Catastro de glaciares del área.....	3
1.3.	EXTENSIÓN, ESPEJOR Y VOLUMEN DEL GLACIAR.....	3
1.4.	DEFINICIÓN DEL TIPO DE GLACIAR.....	4



1.5. ESTRATIGRAFIA DEL GLACIAR.....	4
1.6. BALANCE DE MASA.....	5
1.6.1. Balance de hielo.....	5
1.6.1.1. En la superficie del glaciar.....	5
1.6.1.2. En la base del glaciar.....	5
1.6.2. Balance calórico.....	6
1.6.2.1. En la superficie del glaciar.....	6
1.6.2.2. En la base del glaciar.....	7
1.6.3. Balance hídrico.....	7
1.7. VELOCIDAD DE MOVIMIENTO Y TENSIONES EN EL GLACIAR.....	8
1.7.1. En superficie.....	8
1.7.2. En la base del glaciar (velocidad de deslizamiento).....	8
1.7.3. Velocidad de deformación.....	8
1.7.4. Tensiones en la superficie del glaciar.....	9
1.8. ESTABILIDAD GENERAL DE LOS GLACIARES.....	9
1.9. VARIACIONES DE LOS GLACIARES.....	9
1.9.1. Variaciones recientes.....	9
1.9.2. Variaciones cuaternarias.....	10
1.10. BIODIVERSIDAD.....	10
1.10.1. Estudio de línea de base y relaciones.....	11
1.10.2. Análisis ecosistémico del glaciar.....	11
2. MOCION EN EL SENADO DE CHILE SOBRE PROTECCIÓN DE GLACIARES.....	1
2.1. MOCION PRESENTADA.....	1
2.2. INFORME DE LA COMISION DE M. AMBIENTE Y B. NACIONALES DEL SENADO.....	8
3. PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE LA POLÍTICA NACIONAL DE GLACIARES.....	56



## **II. INFORME.**

### **1. INTRODUCCIÓN.**

#### **1.1. OBJETIVO.**

El presente informe ha sido elaborado a requerimiento de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, como una asesoría general para la formación y organización de la Unidad de Nieve y Glaciares (UNG) de esta repartición.

#### **1.2. ANTECEDENTES.**

##### **1.2.1. ¿Qué son los glaciares?**

###### **1.2.1.1. Características.**

Los glaciares son grandes masas de hielo, con o sin agua intersticial, de límites bien establecidos, originados sobre la tierra por metamorfismo a hielo de acumulaciones de nieve (un proceso denominado sinterización de la nieve), y que fluyen lentamente. Los glaciares fluyen porque: (a) el hielo que contienen se deforma bajo el efecto de la gravedad, según la ley de flujo del hielo, y (b) porque el hielo se desliza lentamente sobre el lecho basal (ver Fig. 1.2.1.1-A) si el hielo está a 0°C (glaciares “temperados”, el caso de la gran mayoría de glaciares en la Cordillera de los Andes). Si el hielo en la base del glaciar se encuentra a temperaturas negativas (glaciares “fríos”), no se desliza sino que se adhiere al material subglacial y el glaciar fluye solamente por deformación de la masa de hielo.

Las aguas intersticiales, supra-glaciales (por ejemplo lagunas y grietas con agua) y sub-glaciales (canalizadas o no) forman parte del glaciar pues condicionan su movimiento y balance de masa; en menor grado lo hacen las aguas de lagunas o lagos pro-glaciales.

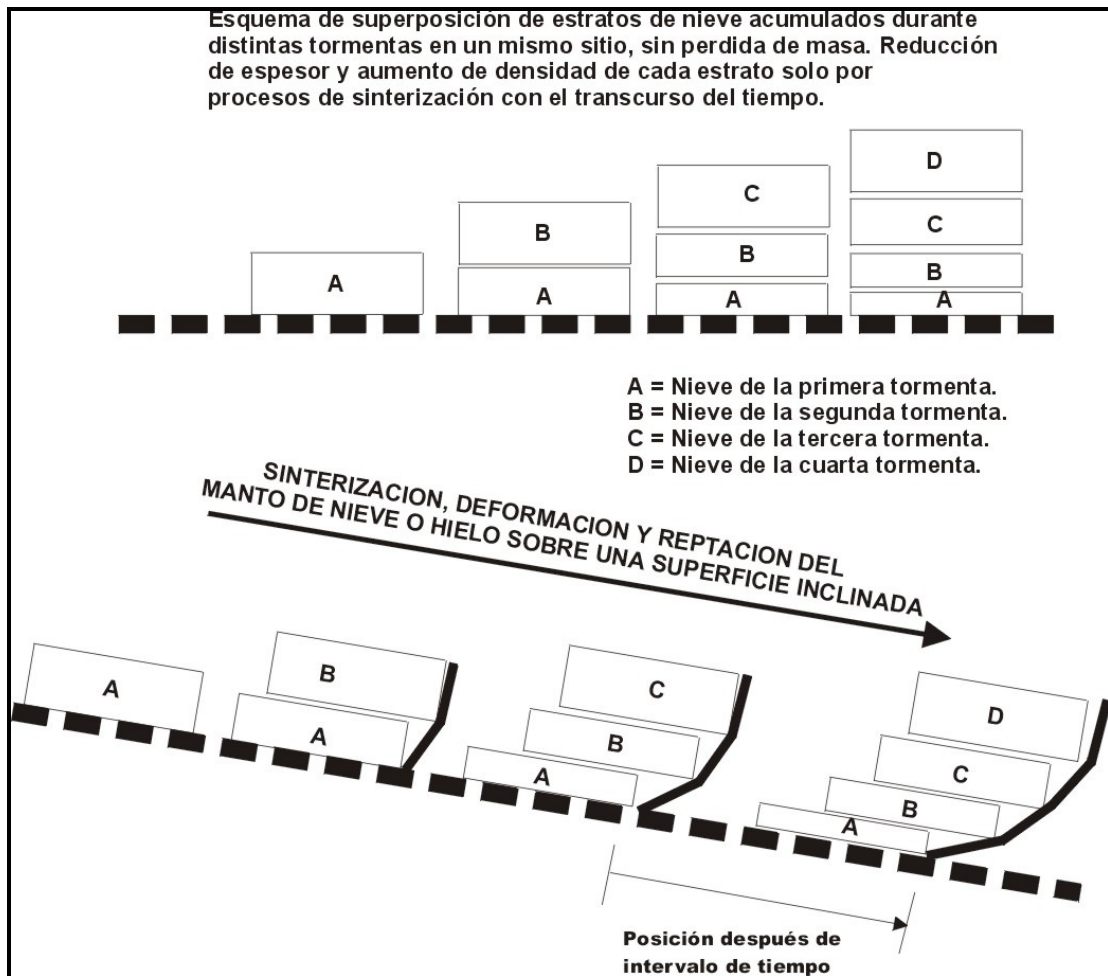
En las masas de hielo de los glaciares existe una variada cantidad de impurezas, compuestas principalmente de material detrítico. Este material es principalmente de origen rocoso, en tamaño desde grandes bloques a finas partículas de arcillas, que caen desde las





laderas sobre el glaciar, o son llevadas por el viento, y se incorporan a las masas de nieve y hielo, y también son fragmentos erosionados en la base del glaciar e incorporados al hielo de su base. Una parte muy menor del detrito en los glaciares, y de difícil detección macroscópica, puede ser orgánico (fragmentos o especímenes enteros) y proviene principalmente del arrastre eólico hasta la superficie del glaciar, donde este detrito se incorpora a la masa de hielo. Acumulaciones de nieve con inusualmente altos contenidos (2% o más en volumen) de detritos rocosos son los depósitos originados por avalanchas

Glaciares con cantidades virtualmente imperceptibles de impurezas y que, por lo tanto, se aprecian esencialmente blancos, se denominan aquí “glaciares blancos” (ver Fig. 1.2.1.1-B) y a ellos se asocia generalmente un valor paisajístico. Glaciares que contienen un porcentaje de detrito tal que este cubre toda la superficie de su Zona de Ablación (el área del glaciar a menor cota) y parte importante de su Zona de Acumulación (el área del glaciar a mayor cota) se denominan “glaciares de roca” (ver Fig. 1.2.1.1-B). En estos últimos, el contenido de detritos puede alcanzar más del 20% del volumen total del glaciar. Entre los glaciares blancos y los glaciares de roca existe una amplia gama de glaciares con cubiertas detríticas que se extienden en solo parte de sus zonas de ablación, y a los cuales llamaremos aquí glaciares de transición en cuanto al grado de impurezas que contienen.



**Fig. 1.2.1.1-A. Esquema de sinterización del manto de nieve y de deformación y reptación del manto de nieve o de un glaciar.**

La cubierta de detritos en un glaciar de roca (ver Fig. 1.2.1.1-C) resulta de la paulatina fusión de la nieve y el hielo, proceso mediante el cual el material detrítico que contienen queda expuesto en superficie. Así, una inicialmente tenue capa de detritos, de escasos centímetros de espesor, cubre la superficie del glaciar en sus mayores cotas, y con el transcurso de los años ella se hace más potente y de mayor espesor; una cubierta tenue, desde espesores de fracciones de milímetro a varios centímetros, incrementa la tasa de fusión de la nieve o hielo por su mejor absorción de la radiación solar, pero esta misma cubierta sirve como un eficiente aislante protector al hielo subyacente cuando su espesor es mayor que 0,25 a 0,30 m. Con el paso del tiempo y el movimiento pendiente abajo de la masa de hielo, cerca del

frente del glaciar de roca se encuentra el mayor espesor de la cubierta de detritos, la cual puede alcanzar varios metros.



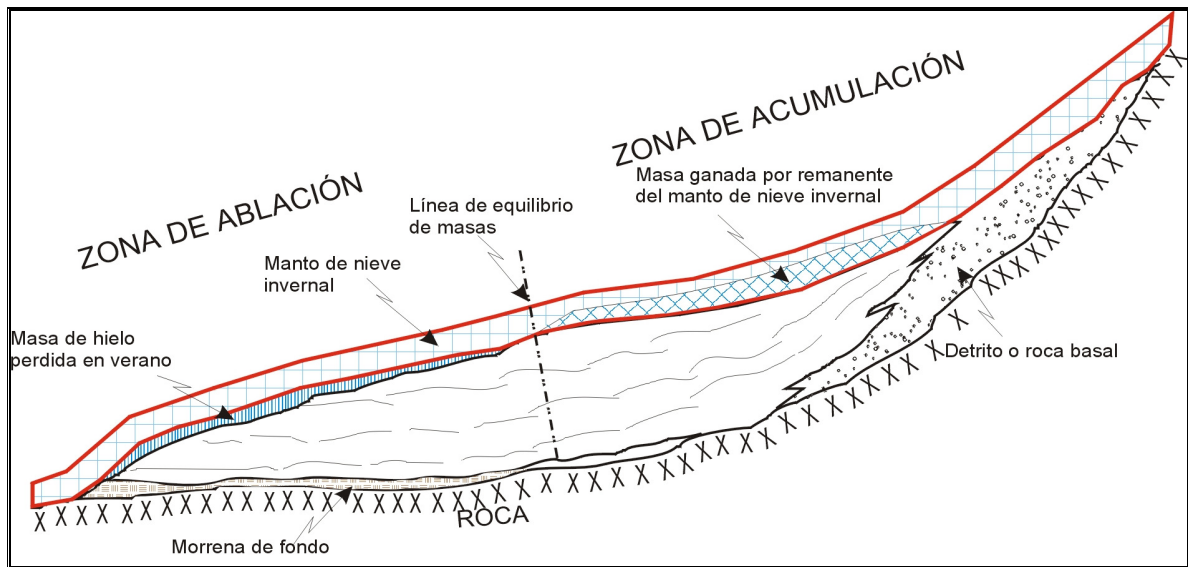
**Fig. 1.2.1.1-B. A la izquierda glaciar blanco con escasa cubierta de detritos en su Zona de Ablación (bandas de detritos oscuros en las morrenas centrales y marginales). A la derecha, glaciar de roca con cordones (bandas de compresión) arqueados hacia el frente (hacia la izquierda abajo) en la dirección del flujo del glaciar.**

Los glaciares poseen una Zona de Alimentación y una Zona de Ablación, separadas por una imaginaria Línea de Equilibrio de masas (ver Fig. 1.2.1.1-D). En la Zona de Alimentación el glaciar gana masa en un balance anual, mayoritariamente la nieve proveniente de la precipitación nival y de avalanchas que logra subsistir al término de la temporada veraniega, más el detrito que estas últimas suelen incorporar. En la Zona de Ablación el glaciar pierde

masa, por los diversos fenómenos de ablación (fusión, sublimación, erosión eólica, etc.). El frente del glaciar es estable cuando el balance anual de masas es igual a cero, vale decir cuando gana tanta masa de nieve en la Zona de Acumulación, como la masa perdida de hielo en la Zona de Ablación; en caso contrario el frente avanza (balance positivo, ganancia neta anual de masa) o retrocede (balance negativo, pérdida neta anual de masa) y se modifica el perfil de la superficie del glaciar.

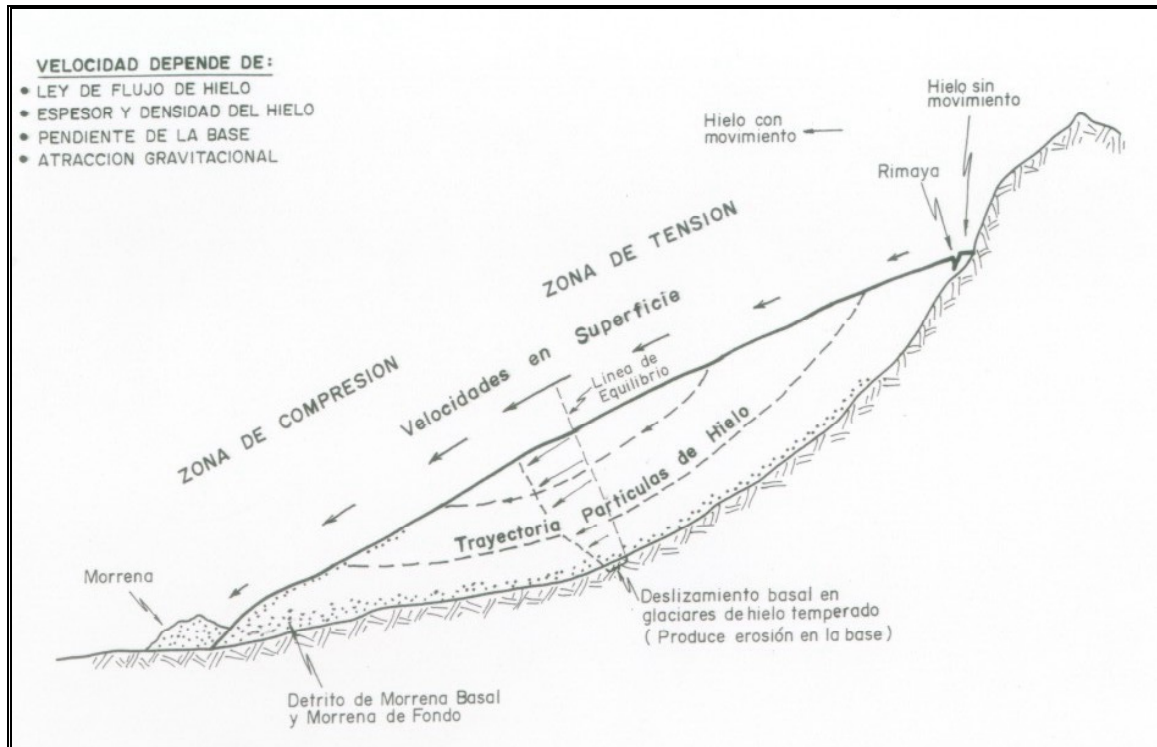


**Fig. 1.2.1.1-C. Corte en un glaciar de roca. Se observa la cubierta detrítica protectora en la superficie del glaciar, y la presencia de impurezas (clastos) embebidos en la masa de hielo.**



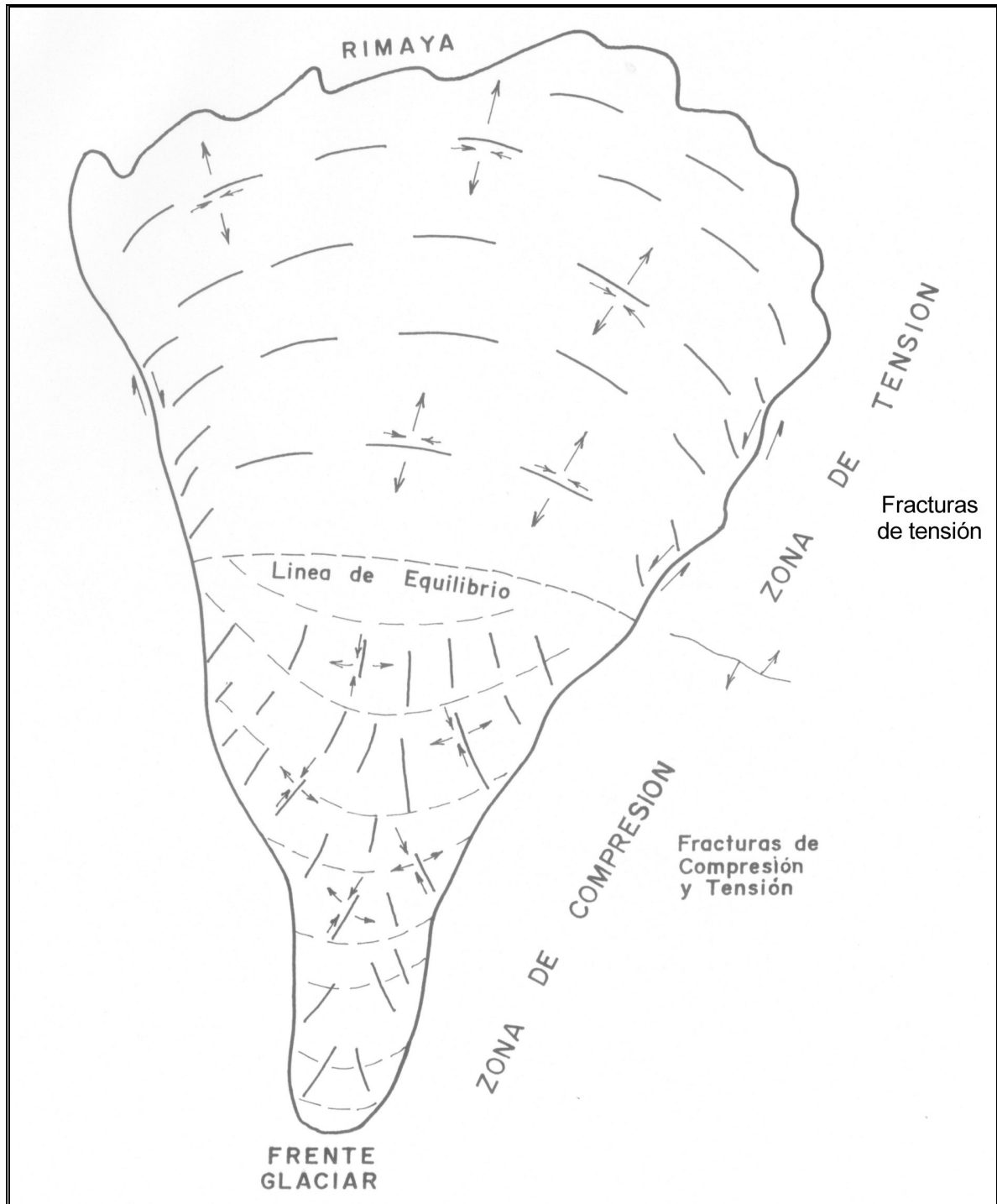
**Fig. 1.2.1.1-D. Sección vertical esquemática por el eje longitudinal de un glaciar, mostrando la disposición de las zonas de acumulación y de ablación.**

En la Línea de Equilibrio, por las mismas condiciones de intercambio de masas entre las zonas de acumulación y ablación, los espesores de hielo son mayores y, por ello, las velocidades de desplazamiento del glaciar son también las mayores (ver Fig. 1.2.1.1-E). Por lo mismo, la Zona de Acumulación es una en la cual las masas de hielo se encuentran en tensión y formación de grietas transversales (ver Fig. 1.2.1.1-F), mientras que la Zona de Ablación es un campo en compresión, con formación de grietas longitudinales y cordones de compresión; esta disposición general del campo de esfuerzos puede alterarse por grandes ondulaciones en la base del glaciar. La disposición general de las grietas en la superficie de un glaciar se muestra también en la Fig. 1.2.1.1-G.

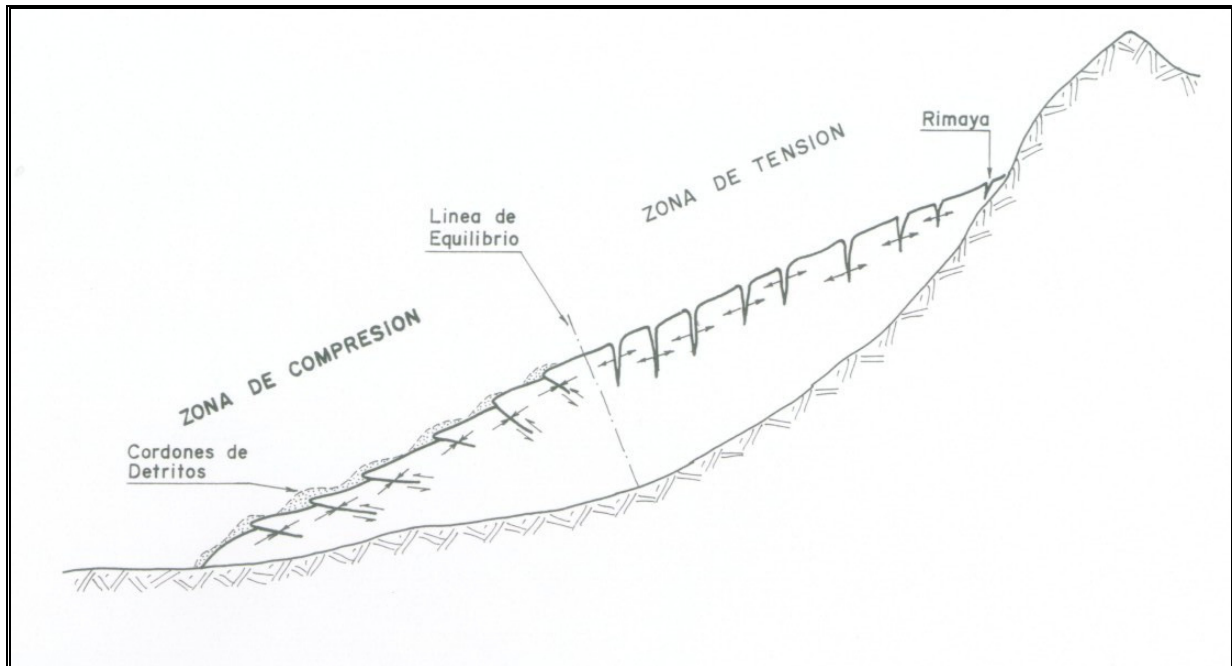


**Fig. 1.2.1.1-E. Esquema de movimiento de un glaciar, en un perfil vertical por el eje longitudinal del glaciar.**

Las velocidades en superficie de desplazamiento de los glaciares dependen del espesor del hielo y de la deformación de este según la ley de flujo del hielo, de la carga que representa el detrito incorporado con sus respectivas densidades, de la pendiente de la base y de la velocidad de deslizamiento en la base. La pendiente en la superficie de los glaciares es función del intercambio de masas entre las zonas de acumulación y de ablación y de las velocidades por ello originadas, y de la pendiente en la base del glaciar. La velocidad basal depende del esfuerzo de corte en la base del glaciar, el que, a su vez, depende del espesor del glaciar y su densidad media, la pendiente de la superficie del glaciar y el efecto de "pistón hidráulico" por la presión de agua en la base (el que a su vez tiene que ver con las inclinaciones de las rugosidades basales). La velocidad basal también depende de la rugosidad del terreno sobre el cual el glaciar desliza.



**Fig. 1.2.1.1-F. Esquema en planta del campo teórico de esfuerzos en un glaciar y de la disposición de los sistemas de fracturas en la masa de hielo.**



**Fig. 1.2.1.1-G. Esquema de disposición teórico de fracturas en un perfil vertical por el eje longitudinal de un glaciar.**

La ablación superficial depende principalmente del intercambio calórico en superficie de glaciar, cuyos componentes principales son:

- v radiación en onda larga y corta (incidente, reflejada y emitida),
- v temperatura del aire y su gradiente vertical,
- v humedad relativa y su gradiente vertical,
- v velocidad del viento y su gradiente vertical,
- v presión barométrica,
- v precipitación y su temperatura,
- v albedo de la nieve o el detrito rocoso,
- v temperatura de la superficie de nieve o detrito,
- v conductividad térmica del detrito o nieve y hielo,
- v gradiente de temperatura en la eventual cubierta detrítica superficial (o nieve),

y de otros efectos secundarios, como la erosión eólica y cursos de agua en la superficie del





glaciar.

En un año promedio, la ablación en la superficie del glaciar destruye toda la nieve acumulada durante el invierno en la Zona de Ablación, e incluso parte del hielo preexistente. En la Zona de Alimentación la ablación superficial no alcanza a destruir toda la nieve acumulada durante el invierno, de manera que se produce un excedente de masa el cual compensa (en un glaciar en equilibrio) aquella (el hielo) perdida en la Zona de Ablación. Para mantener la forma de la superficie de un glaciar en equilibrio de masas, el flujo del glaciar produce un intercambio anual de masa entre las zonas de acumulación y de ablación, de manera tal que el volumen de hielo que pasa anualmente por la sección de la Línea de Equilibrio es la ganancia de masa de la Zona de Alimentación, la que compensa la masa perdida en la Zona de Ablación.

#### **1.2.1.2. Clasificación y ocurrencia.**

Una clasificación primaria de glaciares distingue las siguientes formas: sábana de hielo continental, campo de hielo, casquete o calota de hielo, glaciar de desagüe (de sábanas o campos de hielo), glaciar de valle, glaciar de montaña, glaciarete (glaciares pequeños) y campo de nieve, banquisa o plataforma de hielo flotante, y glaciar de roca. Son parte constituyente de cada glaciar las lagunas que, ocasionalmente, se encuentran en sus superficies.

Excepto los glaciares de roca, todos los otros tipos de glaciares son, desde el punto de vista del contenido de impurezas, glaciares blancos. En Chile continental se encuentran todos los tipos de glaciares excepto las sábanas de hielo, las que si ocurren en el territorio antártico. Debido a las condiciones climáticas, en el extremo sur de Chile se observan solo glaciares blancos; a la latitud de Santiago el número de glaciares blancos y de roca es similar. En el norte de Chile predominan los glaciares de roca.



### **1.2.1.3. Variaciones naturales y antrópicas (por intervención) de los glaciares.**

#### **1.2.1.3.1 Variaciones naturales.**

En el registro geológico se sabe de la aparición y extinción de glaciares en diversas ocasiones durante la existencia de la Tierra. Incluso varias dentro del último millón de años. Actualmente, y salvo raras excepciones, la mayoría de los glaciares blancos en el mundo se encuentran en retroceso desde tiempos históricos o bien desde el máximo de la última glaciación, ocurrido varias decenas de miles de años atrás. Esta es también la situación de la mayoría de los glaciares blancos en Chile, aunque existen notables excepciones; algunos pocos avanzan (o avanzaron) en años recientes, y algunos exhiben frentes estacionarios.

Por otra parte, la mayoría de los glaciares de roca en Chile muestran frentes estacionarios, y se conoce uno que avanzó en años recientes.

El estado general de reducción de masas en que se encuentran los glaciares blancos, desde las regiones polares a los trópicos, se atribuye a cambios climáticos globales. Estos cambios ocurrieron, esencialmente, por causas naturales hasta la revolución industrial del siglo XIX; desde entonces, se agregan efectos de la actividad humana (principalmente el aumento de los gases “invernadero”, aunque en muchos casos este efecto no está totalmente, o adecuadamente, cuantificado y caracterizado.

A modo de ejemplo de lo anterior, aún nadie ha determinado el efecto sobre los glaciares blancos de la cordillera del centro de Chile que produce el “smog” originado en la mega urbe de Santiago y del humo de las quemadas e incendios forestales, aunque es evidente (incluso a simple vista) que esta contaminación alcanza hasta la cota de los glaciares. ¿Cuánto del retroceso de los glaciares en la cordillera del centro de Chile es debida no a causas naturales sino a contaminaciones y cambios climáticos inducidos por la sola presencia y actividades del hombre? No existe aún una respuesta, pero si sabemos que ello afecta de diversas maneras, y siempre de manera negativa para los glaciares, el balance de masas de los glaciares, incluyendo en este concepto el balance de hielo, el balance calórico y el balance hídrico.



### **1.2.1.3.2**     La intervención de glaciares.

El ejemplo del sub-capítulo anterior puede calificarse como una intervención indirecta en los glaciares. Pero también existen cambios en los glaciares que se producen como respuestas a intervenciones directas, siendo las más notables de estas aquellas ocasionadas por la minería en Chile, y muy secundariamente aquella producida por la industria energética. Estas intervenciones han ido desde pequeñas remociones de porciones marginales de masas de hielo de glaciares, hasta la remoción completa y extinción de un glaciar; o desde la depositación de pequeñas cargas de lastre en los glaciares, hasta extensas cubiertas de estos con botaderos de estéril o de mineral de baja ley, o bien teñir la superficie de un glaciar blanco para incrementar la tasa de fusión y producir agua. En todos estos casos se ha modificado el régimen de los glaciares. En la mayoría de los casos estas intervenciones han sido realizadas en detrimento de los glaciares intervenidos, la mayoría de ellos glaciares de roca.

La preocupación por los glaciares como fuentes y reservas de agua ha surgido solo muy recientemente, en Chile y en el mundo, virtualmente en los últimos años. Solo un par de décadas atrás el desarrollo de técnicas para intervenir glaciares y desarrollar proyectos era ensalzado, en Chile y en el extranjero, como un éxito tecnológico.

Ejemplo de lo anterior es, entre otros, la alabanza internacional que produjo el año 1969 el logro en Chile de incrementar, económicamente y de manera significativa, la producción de agua desde un glaciar mediante el aumento por medios artificiales de la fusión de hielo en la superficie de un glaciar blanco, para así aportar aguas a los ríos en años extremadamente secos. O el logro en Noruega, a finales de la década de los '80, de la captura mediante túneles sub-glaciales del agua que escurre en la base de algunos glaciares, para suministrar recursos hídricos a un desarrollo hidroeléctrico. O la remoción, en Chile y desde la década de los '80, de grandes masas de hielo para abrir rajas mineros.

En ninguno de los casos arriba citados hubo una especial preocupación por el efecto de las intervenciones sobre los glaciares en cuanto a preservar las masas de hielo, reflejando ello la común actitud de las autoridades, la comunidad científica y el público en general, tanto



nacional como internacional. Esta percepción de la intervención de glaciares ha cambiado en años recientes, manifestándose, entre otros, ante: (a) el deterioro ambiental causado por el pobre diseño de la intervención de un glaciar en un proyecto minero en la República de Kirgistan, (b) en Chile, por la no autorización (en meses recientes) por parte de CONAMA a una empresa minera, para intervenir glaciares insuficientemente conocidos, por lo que las consecuencias de estas intervenciones se estimaron que no eran adecuadamente previsibles, (c) en Indonesia, por el eventual efecto negativo del polvo levantado en una operación minera, sobre algunos pequeños glaciares ecuatoriales cercanos a ella, (d) en Alemania, por el efecto – no analizado – de proteger una parte pequeña de un glaciar, importante para el desarrollo turístico de la región, cubriéndolo con material reflectante a la radiación solar.

Es necesario aceptar que la percepción de la población respecto a la intervención en los recursos naturales cambia con el tiempo, y seguirá modificándose, con la clara tendencia a la protección de estos y regulación de su extracción. Hoy no son aceptables métodos que eran comunes en el pasado, tales como las quemas de bosques para abrir áreas vírgenes, la caza de ballenas en las costas chilenas, el abandono no regulado de faenas mineras, la extracción de aguas hasta secar temporalmente cursos de agua. También debe aceptarse que la intervención no regulada de glaciares es mayoritariamente rechazada por la población y que ella debe ser regulada.

## **1.2.2. ¿Porqué importan los glaciares?**

### **1.2.2.1. Fuentes y reservas de agua dulce, y reguladores de caudales.**

Los caudales que emergen de los glaciares, debido a la fusión del hielo que contienen, son una fuente importante de agua dulce. Además, como los glaciares están compuestos principalmente de grandes masas de hielo, son una importante fuente y reserva temporal de agua dulce, en Chile y en el planeta, sobre todo en las regiones áridas o semi-áridas. Adicionalmente, los glaciares ayudan a la regulación de caudales, reduciendo las crecidas de deshielo y manteniendo aportes significativos de recursos hídricos durante la época estival



más seca, o durante años secos. Por lo anterior, todos los glaciares son un preciado bien público. Sin embargo, en Chile, al igual que en la mayoría de los países, no son así reconocidos en el ordenamiento legal.

Cuando un glaciar se encuentra en situación de equilibrio, vale decir cuando su frente no retrocede ni avanza, y el glaciar mantiene su volumen y sus cotas de superficie, el glaciar gana tanta masa en invierno como la que pierde en verano. Así, el glaciar en equilibrio no sufre una pérdida neta de masa ni aporta aguas a su cuenca. En estas condiciones los glaciares solo ejercen un efecto regulador de los caudales de los ríos a los cuales tributan.

Por otra parte, si los glaciares avanzan es porque retienen parte de la precipitación nival para convertirla en mayor masa de hielo y aumentar su volumen. En estas condiciones los glaciares restan parte de la precipitación en la cuenca a los caudales de los ríos. Por el contrario, si los glaciares retroceden es porque están perdiendo masas de hielo y reduciendo sus volúmenes, con lo cual si producen un aporte neto de recursos hídricos a sus cuencas. Ambos son casos de desequilibrios en el balance de masas de los glaciares.

El que la mayoría de los glaciares blancos se encuentre en retroceso, significa que en los ríos del país escurre, además del agua aportada por la precipitación, aquella aportada por la pérdida de masa de los glaciares. Así, en la medida que los glaciares se reducen o extinguen, el aporte de ellos a los ríos merma o desaparece.

Las condiciones de equilibrio o desequilibrio de los glaciares no debe, ni puede, ser juzgada a partir de observaciones de períodos de tiempo de uno o pocos años. En un año seco un glaciar normalmente en equilibrio pierde masa y aporta recursos a los cauces fluviales, masa que gana en el próximo año de altas precipitaciones, restituyendo la previamente perdida, restando ese año recursos a los cursos fluviales, y manteniendo así una condición general de equilibrio a largo plazo. En glaciares pequeños estas repuestas a años de condiciones climáticas extremas puede llevar a la aparente total o cuasi-extinción de las masas de hielo, para recuperarse los glaciares con creces en años de altas precipitaciones.

Por lo anterior, para evaluar la condición de equilibrio de un glaciar deben realizarse



mediciones en terreno durante varios años. En ausencia de estas, una aproximación al balance de masa de un glaciar puede obtenerse comparando imágenes (fotografías de terreno, fotografías aéreas, o imágenes satelitales de alta resolución) recientes y antiguas.

### **1.2.2.2. Valor paisajístico.**

Los glaciares blancos tienen un innegable valor estético, paisajístico y por lo mismo turístico, pero no así los glaciares de roca con sus cubiertas de detritos rocosos. La gran mayoría de las personas en Chile sabe como es un glaciar blanco, pero incluso prominentes glaciólogos no saben reconocer un glaciar de roca.

El turismo en glaciares constituye, hoy en día, un segmento esencial del turismo aventura. Se ofrecen productos tales como: visitas a frentes glaciares, caminatas breves sobre glaciares y recorridos por el día o, aún, travesías de varios días, práctica del ski en verano, cursos de instrucción en glaciares y de navegación en lagos y aguas pro-glaciales, y escaladas en hielo. A lo anterior se agrega una importante y pujante industria hotelera, actividades deportivas y de recreación, y numerosas fuentes de trabajo indirecto relacionadas con el turismo. Parte importante de los parques nacionales en Chile ofrecen, como atractivo especial, la vista sobre paisajes con glaciares blancos.

El valor netamente paisajístico de un glaciar blanco es su capacidad de ser un punto focal de interés desde cualquier cuenca visual desde la que se pueda observar. Esto es más relevante aún en regiones áridas, en las que encontrar un glaciar blanco lo hace muy inesperado, y resalta más su valor. Todo lo contrario ocurre con los glaciares de roca, que no se distinguen del suelo del entorno que los rodean, y que comúnmente pasan inadvertidos en los valles andinos.

### **1.2.2.3. Biodiversidad.**

En general siempre se ha tenido la creencia de que la actividad biológica en glaciares es



mínima, incluso inexistente, excepto comunidades bióticas temporales y material orgánico transportado por viento, dadas las extremas condiciones ambientales en los glaciares. Sin embargo exploraciones muy recientes, que investigan la biodiversidad en glaciares, han revelado especializadas comunidades bióticas que realizan todo su ciclo de vida en ellos, como lo muestran estudios recientes en glaciares de Alaska, de las Montañas Rocosas, de los Himalayas y de la Patagonia. Es así como, en algunos glaciares, se ha encontrado toda una biodiversidad propia de estos ecosistemas extremos, la que se inicia con algas en la base de la cadena trófica y que habitan en la superficie de glaciares, y cuyos miembros superiores son algunas especies de insectos y de invertebrados como los “gusanos del hielo”.

El conocimiento de la biodiversidad presente en glaciares es un campo de investigación nuevo, y de lo cual poco se sabe, en Chile y en el mundo.

### **1.2.3. ¿Porqué un servicio de nieve y glaciares en Chile?**

#### **1.2.3.1. ¿Porqué en Chile?**

Son muchas las razones por las cuales debe existir en Chile una institución capaz de manejar adecuadamente los problemas relacionados con la presencia de nieve y hielo en el territorio nacional. Las principales razones son:

- a) La fusión del manto de nieve invernal y del hielo de glaciares es uno de los principales proveedores de recursos hídricos para las regiones más pobladas del país. Más aún, es el único proveedor de recursos hídricos en ciertas regiones y durante ciertas estaciones climáticas, en particular en las regiones donde este recurso es escaso.
- b) La extensión del manto nivoso varía con el tiempo, y la gran mayoría de los glaciares se encuentra en franca reducción de extensión, espesor y volumen, como consecuencia de cambios climáticos globales y locales. Esto afecta a la disponibilidad de recursos hídricos, anualmente y a mediano y largo plazo, la cual es necesario prever y sobre lo cual deben tomarse acciones que afectan a la población.
- c) El desarrollo del país, en especial en los ámbitos minero y energético, conduce a la



ocupación progresiva de áreas montañosas donde la actividad industrial afecta a menudo a glaciares y al manto nivoso.

- d) La presencia de nieve y hielo crea condiciones de peligro y riesgo a diversas actividades, afectando la marcha económica del país. En especial en las carreteras internacionales (por nieve y avalanchas), a centros urbanos (por ejemplo por destrucción de lagunas o embalses debido a deslizamientos glaciares, o por lahares – flujos de barro asociados a la violenta fusión de nieve y hielo - originados en conos volcánicos cubiertos de nieve y glaciares), y parte significativa de la infraestructura del país.
- e) Las resoluciones de la CONAMA en lo referido a supervisión y monitoreo de proyectos cuyas actividades de alguna manera afectan a glaciares o al manto nivoso, obligan a una institución fiscal a controlar la ejecución de esas acciones.

### **1.2.3.2. ¿Porqué un servicio de nieve y glaciares en la DGA?**

#### **1.2.3.2.1 Aspectos generales.**

El recurso hídrico que proviene del manto de nieve y de los glaciares es un bien público, cada vez más escaso y, también, de una demanda que crece con la población y el desarrollo del país. Por lo mismo, su control y manejo no puede descansar exclusivamente en instituciones privadas.

El manto nivoso y los glaciares son fuentes de agua; de ellos surge un caudal natural con cierta calidad que, en general, se considera prístina. Si por alguna causa natural, o por intervención sobre el manto nivoso y los glaciares, vale decir las fuentes de agua, la calidad y/o cantidad del efluente se deteriora o modifica, se está alterando un bien nacional de uso público.

En Chile la institución más preocupada por el tema de nieve y glaciares ha sido, históricamente, la DGA. Y por razones obvias, como lo es su tarea de administrar los recursos hídricos del país y controlar la utilización de estos.





La DGA ha instalado, y controla y monitorea: (i) rutas de nieve, (ii) estaciones automáticas nivo-meteorológicas, (iii) el glaciar Echaurren, (iv) estaciones automáticas fluviométricas. Además: (v) ha realizado inventarios de glaciares, (vi) ha realizado estudios específicos de riesgos glaciares, (vii) ha apoyado a su personal en la formación especializada en el tema de nieve y glaciares. Recopilación de riesgos naturales asociados a glaciares en Chile

No existe otra institución del estado que cuente con personal con experiencia en el tema de nieve y glaciares, y menos aún con algún equipamiento, aún el más básico. Un servicio estatal de nieve y glaciares debe poseer capacidades que van más allá del interés exclusivo en los recursos hídricos (como, por ley, corresponde a la DGA), pero no es realista pensar en que en un país como Chile pueda existir más de un servicio en el ámbito de nieve y glaciares; no sería un uso eficiente de los recursos. Por ello, creemos que el servicio de nieve y glaciares debe centrarse íntegramente en la DGA.

#### **1.2.4. La legislación y organización para nieve y glaciares en otros países.**

##### **1.2.4.1. La legislación referente a glaciares en otros países.**

###### **1.2.4.1.1 Argentina.**

No existe en Argentina una legislación referida directamente a glaciares o glaciares de roca. La eventual intervención de glaciares debe hacerse previa autorización del gobierno de las provincias. Para esto, existe una detallada legislación de procedimientos, además de que Argentina ha adherido a la mayoría de los tratados y convenciones internacionales sobre el medio ambiente.

Corresponde al Congreso de la nación Argentina dictar las leyes del medio ambiente, pero son las provincias las que aplican estas leyes. Existe un reglamento que establece las pautas y lineamientos que deben observarse para la presentación de proyectos ante la OFICINA ARGENTINA DEL MECANISMO PARA UN DESARROLLO LIMPIO (OAMD), depende del Ministerio de Salud y Ambiente) y su posterior evaluación y aprobación o rechazo según corresponda.



#### **1.2.4.1.2** Austria.

El inventario de glaciares de Austria describe la existencia de 925 cuerpos; pero no existe en Austria alguna legislación referida a glaciares. La temática de aguas y del ambiente, está manejada por el Ministerio de Agricultura, Recursos Forestales, Ambiente y Manejo de Aguas. Se piensa, pero no hay certeza, que todos los glaciares de Austria se ubican dentro de parques nacionales o de áreas protegidas. En todo caso, también se cree que las leyes ambientales y de manejo del recurso de agua, otorgan protección tal a los glaciares que impiden que estos sean afectados por acciones que los intervengan, reduzcan sus masas o efluentes, o contaminen sus efluentes.

Durante el verano del año 2004 se inició un programa para proteger puntos clave de un glaciar en las montañas del Tirol, con el propósito de evitar daños a torres de andariveles. La protección tuvo como propósito cubrir aproximadamente 2.000 m<sup>2</sup> de la superficie de un glaciar, con láminas reflectantes de la radiación solar para así reducir la fusión en la superficie del glaciar. El programa resultó de alto costo y se está revisando durante el presente verano. El proyecto, de pequeña intervención en un glaciar, fue aprobado por el gobierno del Tirol bajo fuerte presión de grupos inmobiliarios (y oposición de grupos ambientalistas y de gobiernos de otras regiones de Austria) que buscan desarrollar proyectos de centros invernales a mayor cota que la permitida, debido a la general mayor cota en la que actualmente precipita nieve.

#### **1.2.4.1.3** Canadá.

Las tres organizaciones que han respondido a nuestras consultas, se han mostrado perplejas frente al hecho que alguien siquiera intentara intervenir glaciares. Esta organizaciones han sido. (i) la Asociación de Abogados por el Ambiente, (iii) el comité canadiense de la Comisión de Norte América para la Cooperación Ambiental (parte del tratado NAFTA), y (iii) El gobierno de la provincia de Yukon.

En Canadá se considera poco probable que exista un glaciar en terrenos privados y no existe



una legislación específica aplicada a glaciares. Se piensa (no hay certeza) que todos ellos se encuentran protegidos dentro de parques nacionales o se encuentran dentro de tierras que pertenecen al “Comisionado” (terrenos públicos). Las personas, o pueblos originarios, que poseen terrenos privados, no tienen derechos sobre las aguas en sus tierras. Se presume que en el caso de existir un interés por utilizar glaciares de alguna manera, estos serían tratados como cuerpos de agua, y un propietario de las tierras no tendría derechos automáticos sobre los glaciares. Si alguien desea utilizar el recurso de los glaciares, debe solicitar una licencia al gobierno de la provincia correspondiente, y la autoridad respectiva velará por la protección del recurso

Si bien no existe en Canadá una legislación específica aplicada a glaciares, sí existe un ánimo de protección de los glaciares, mediante el expediente de crear parques nacionales y sitios de interés histórico. Adicionalmente, y reconociendo que los glaciares son fuentes de agua, se está trabajando actualmente (y por primera vez) en la provincia de Ontario en pasar una legislación que proteja a las fuentes de agua. Eventualmente esta legislación será aplicada al resto de las provincias.

En Canadá, y en ausencia actualmente de una legislación específica sobre glaciares, pero con el ánimo de proteger a estos como fuentes de agua, la legalidad aplicada es aquella de las reglas de protección ambiental de cada provincia, regla a la que debe someterse cada proyecto de inversión.

#### **1.2.4.1.4**     Estados Unidos de Norte América.

Según la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA) de Estados Unidos, no existe en ese país una ley explícita referida a glaciares. Sin embargo, EPA piensa que los glaciares pueden ser considerados humedales (“wetlands”) y a ellos debe aplicarse las leyes de protección de humedales, incluso si estos se encuentran en terrenos privados. En todo caso, los glaciares serían recursos hídricos a los cuales se aplican esas leyes.

En opinión de EPA, las tierras bajo los glaciares son terrenos públicos a los que se aplica el Acta de Terrenos Sumergidos (Submerged Land Act), dictada para establecer la propiedad



de suelo bajo aguas someras.

En todo caso, en Estados Unidos es necesario presentar una Evaluación de Impacto Ambiental para cualquier actividad que de alguna manera afecte o se relaciones con recursos hídricos, humedales, terrenos públicos (ya sea de las comunas, estados, o de la federación) y, desde luego, parques nacionales, estatales, o áreas de alguna manera protegidas.

Según el centro de información de nieves y glaciares de Colorado (NSDIC), cualquiera modificación, o alteración, de un glaciar afectará los recursos hídricos que de el emanan, de manera que un privado no puede afectar glaciares sin el consenso previo de las autoridades que regulan los recursos hídricos, y también de todos los usuarios o propietarios de derechos de agua ubicados aguas abajo del glaciar.

#### **1.2.4.1.5**    Francia.

No existe en Francia alguna ley referida específicamente a glaciares o glaciares de roca.

En la mayor parte de la Francia alpina la montaña, y los glaciares en ella, es de dominio del estado o de colectividades públicas. El estado concede permisos de utilización a las comunas y a sociedades de explotación, sujetos al cumplimiento de compromisos detallados, incluidos aquellos de protección del ambiente. Así, los privados no pueden afectar glaciares, a menos que se entre en acuerdo con sus (eventuales) propietarios, el estado o las colectividades. En todo caso, es mayoritaria la opinión en cuanto a que estos eventuales acuerdos no permitirían la alteración de los glaciares.

En estas montañas del estado, en el caso de telesféricos o equipamiento de los centros de ski, la protección se centra en especies de la flora y fauna; solo recientemente se ha puesto atención a la protección de los recursos hídricos. Dentro de las próximas tareas, se avanzará en:

- i. Los glaciares de roca, activos o inactivos. Se los considera poco conocidos. También se los considera frágiles por cuanto se los estima muy porosos y, una



vez contaminados, se constituyen en reservorios de contaminantes, los cuales descargan continuamente.

- ii. Una fuente incontrolable de contaminación en la alta montaña son los refugios, hoteles y restaurantes. Un decreto reciente los obliga a extraer los efluentes de la alta montaña al final de la temporada, sin embargo esto a fallado totalmente debido a la incapacidad de realizar una deshidratación de los efluentes, por lo cual el tonelaje de efluentes a extraer es considerable y solo se realiza en parte menor. El resto, ya sea voluntariamente o debido a una manipulación no controlada, se dispone en la neviza de los glaciares y desciende con los torrentes hacia el valle, puesto que la degradación biológica no funciona eficazmente en ambientes frías.
- iii. Actualmente existen en Francia autorizaciones a privados para manejar visitas a cavernas de hielo en los glaciares, como atracciones turísticas, y autorizaciones para que empresas del rubro hidroeléctrico puedan captar el agua proveniente del escurrimiento de los glaciares.

Aunque no existe certeza, aparentemente solo un glaciar en Francia es de dominio privado, el glaciar de Gébroulaz, en la Vanoise. En este caso, el estado no interviene en los antiguos derechos de caza y pesca, pero reglamenta las actividades modernas. Así por ejemplo, la instalación de un telesférico a la cumbre de Péclet-Poiset no ha sido jamás autorizada, a pesar de la insistencia de promotores con el apoyo de vecinos del valle de la Comuna de Méribel les Allues.

#### **1.2.4.1.6** Irán.

No existe en Irán una legislación específicamente referida a glaciares. Existe sí una amplia legalidad referida al medio ambiente en general, y cualquier intento de afectar glaciares debe obtener la aprobación del Departamento del Ambiente mediante una Evaluación de Impacto Ambiental.

El Departamento del Ambiente de Irán depende de la Oficina del Presidente y es el responsable de la protección del ambiente. El Vicepresidente de la República Islámica de



Irán es el Director del Departamento del Ambiente y actúa como Secretario del Alto Consejo para el Ambiente; a su vez, preside el Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable.

Las leyes ambientales se aprueban en el Parlamento, o bien son establecidas como decretos por el Gabinete de Ministros del Alto Consejo para el Ambiente.

Las planicies secas de Irán dependen en gran medida de los recursos hídricos provenientes de las montañas, sus nieve y glaciares, aún así, no existe legislación que proteja estos recursos. Recientemente se ha presentado al Consejo Supremo del Comité Nacional para el Ambiente, un paquete de medidas para promover la legislación en ambientes de montaña.

#### **1.2.4.1.7** India.

No existe en India una ley que se refiera específicamente a glaciares.

Los glaciares de la India se encuentran dentro del denominado Gran Parque Nacional del Himalaya (GHNP) y, como tales protegidos de cualquier intervención por las leyes de protección de los parques naturales.

Aún así, recientemente, el gobierno del estado de Himachal Pradesh excluyó partes del GHNP en el distrito de Kullu, para el desarrollo allí de un proyecto hidroeléctrico. Esta resolución del gobierno estatal, está siendo disputada por grupos ambientalistas que demandan su reincorporación al GHNP.

Actualmente, el gobierno de la India está siendo demandado en juicio debido a que los glaciares del área de Nanda Devi, uno de los sitios declarados por UNESCO como “World Heritage Site”, están retrocediendo fuertemente y la producción de recursos hídricos mermado, afectados por cambios en sus condiciones ambientales.

#### **1.2.4.1.8** Italia.

En Italia ha existido una discusión respecto a la pertenencia jurídica de los glaciares, la que



se ha extendido por más de un siglo. Resoluciones recientes establecen que todos los glaciares son de dominio público, no pueden existir glaciares de dominio privado, y que no se puede alterar glaciares. Destruir, alterar o mover glaciares solo es posible si existe un grave riesgo para la vida humana. En este aspecto, existe una severa legalidad relativa a aspectos ambientales y paisajísticos.

Por ser de especial interés, en el Anexo 3 se adjunta un texto de estudio sobre la naturaleza jurídica de los glaciares en Italia. El texto está en italiano.

#### **1.2.4.1.9**     Japón.

Japón es un país en el que no existen glaciares. Sin embargo, Japón es un activo operador en el continente Antártico y en regiones frías y de nieve en general.

No existen en Japón leyes que tengan relación con glaciares o glaciares de roca. Sin embargo, existen estrictas leyes ambientales.

La Ley Ambiental Básica (LAB), de Noviembre de 1993, forma la base de la estructura de las leyes y políticas ambientales, define responsabilidades y establece los instrumentos de protección del ambiente, nacional e internacional. La LAB incorporó leyes y regulaciones previas; entre otras, la Ley de Conservación de la Naturaleza, de 1972, que prohíbe la destrucción de rasgos sobresalientes del ambiente natural, en terrenos públicos o privados. Entre otros, la LAB establece el requisito de una evaluación del impacto ambiental para el desarrollo de proyectos.

Para el control y regulación de temas ambientales existe un Ministerio del Ambiente y, dentro de este en particular, una Agencia del Ambiente.

Los recursos hídrico de Japón se ordenan, otorgándose derechos específicos, según la Ley de Ríos. Estos se dividen en aquellos de Clase A, administrados por el Ministerio de Construcciones, y aquellos de Clase B, administrados por los gobiernos de las Prefecturas. Algunos tributaros menores son administrados por los alcaldes de ciudades, pueblos o



villorrios. La Ley de Ríos establece que cualquiera utilización de los terrenos o aguas de ríos debe contar con la aprobación del administrador de las aguas.

#### **1.2.4.1.10** Kirgistan.

En Kirgistan existe una legislación ambiental y de derechos de agua, heredada de la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. Ni estas leyes ni ninguna otra se refiere específicamente a glaciares o glaciares de roca. En el marco de la legislación vigente se permitió la operación de la mina de oro Kumtor (Kumtor Operating Company) de la empresa Cameco, subsidiaria de Barrick, lo cual incluía un plan de manejo de los glaciares..

Las operaciones de Kumtor se realizan entre las cotas de 3.600 y 4.250 metros, y el diseño de las operaciones en los glaciares fue realizado por la consultora Golder Asoc. Para el desarrollo del rajo se excavaó el pequeño glaciar 3359 (número del catálogo de glaciares de la ex URSS), y el detrito glaciar se deposito en parte al margen y en parte sobre (de manera no autorizada) los glaciares Lysyi y Davydov. No existe un monitoreo de los glaciares pero a simple vista se observa una gran deformación de estos, y se preveen serias consecuencias para el glaciar Davydov en particular. Adicionalmente, se producen desprendimientos hacia el valle de detritos rocosos y fragmentos de hielo. El tranque de relaves de la mina, con más de 100 millones de metros cúbicos, fue ubicado sobre un glaciar de roca; se ha producido un serio desplazamiento del glaciar y el tranque, y se observa una acidificación de las aguas de los ríos Kumtor y Naryn. Geólogos del Instituto de Geología de Kirgistan opinan que el polvo levantado por las operaciones minera afectan a glaciares distantes 5 a 10 km de las operaciones mineras; pero no existe monitoreo de estos glaciares. En Junio de 2002 ocurrió un colapso en el rajo, con el desplome hacia el interior de aproximadamente 2 millones de metros cúbicos de hielo y detritos de un glaciar de roca; el accidente causó la muerte de un trabajador y pérdidas económicas importantes a la empresa minera.

Las autoridades ambientales de Kirgistan opinan que la autorización de la operación de Kumtor ha sido un error, que el diseño de la mina (en particular el manejo de los glaciares) ha sido deficiente, y que en el futuro se verán enfrentadas a un desastre ecológico en el área.





#### **1.2.4.1.11** México.

En México no existen leyes referidas específicamente a glaciares.

Todos los glaciares de México se encuentran en Parques Nacionales, en particular los parques Popocatepetl e Ixtccíhuatl. Aún cuando estos parques se constituyen sobre terrenos que son en parte nacionales y en parte privados, los glaciares que en ellos existen están protegidos de cualquier intervención.

Los parques nacionales de México, y los glaciares en ellos, son administrados por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

#### **1.2.4.1.12** Noruega.

En Noruega no existe una legislación aplicable directamente a los glaciares; sin embargo, existe una amplia legislación incluso de protección ambiental, aplicable a ríos y cursos de agua. La NVE, la agencia estatal responsable del manejo de los recursos hídricos, piensa que esta legislación es aplicable a glaciares.

La mayoría de los glaciares en Noruega se encuentran dentro de parques nacionales y protegidos por la estricta legalidad relativa a estos parques. No se sabe de glaciares en terrenos privados, pero de existir estos estarían supuestamente comprendidos dentro de la legislación que regula el manejo de los recursos hídricos.

Se cree que un privado podría hacer pequeñas excavaciones o modificaciones en un glaciar dentro de su propiedad, pero siempre que no altere al glaciar. En todo caso, si estas excavaciones fueran con propósitos comerciales, no serían permitidas a menos que posean previamente una debida autorización. La autorización debe solicitarse a las agencias de gobierno locales y centrales respectivas, e informarse y aprobarse por cualquier otro interesado.



No existe experiencia previa respecto a una solicitud de explotación o manejo de glaciares, pero debido a que para afectar un glaciar debe construirse toda una infraestructura de caminos y otras, en áreas prístinas, se cree que esta situación tendría un resultado negativo para la solicitud. En resumen, cualquier intento de excavar o modificar glaciares con propósitos comerciales, no sería aprobado en Noruega.

A pesar de lo anterior, Noruega es uno de los pocos países en que se realizan actividades de aprovechamiento que afectan a glaciares. En Spitsbergen, se explotan minas de carbón de manera subterránea bajo glaciares, y los propietarios han construido caminos sobre los glaciares. Por otra parte, NVE extrae agua desde la base de los glaciares, mediante túneles excavados en roca y que afloran en cursos de agua en la base de los glaciares.

#### **1.2.4.1.13** Nueva Zelandia.

No existe certeza, pero se cree en Nueva Zelandia que no existen glaciares en terrenos privados (con la posible excepción de pequeños glaciares en propiedades en las montañas); se presume que todos los glaciares se encuentran en parques nacionales o bien en terrenos pertenecientes a la Corona (el gobierno de Nueva Zelandia) y son administrados por el Departamento de Conservación (o Ministerio de Conservación).

Diez años atrás, parte importante del territorio de los Alpes del Sur fue devuelto a la tribu Maori que reclamaba la propiedad de la tierra. Pero aún así todos los ríos y lagos pertenecen a la Corona y son manejados dentro de la ley llamada Acta de Manejo de los Recursos (RMA). La RMA fue una legislación pionera en el mundo, pero actualmente ha sido adoptada por diversos países; todo el territorio de Nueva Zelandia, sean terrenos públicos o privados, deben manejarse de acuerdo al RMA.

La RMA promueve el manejo sustentable de los recursos físicos y naturales de Nueva Zelandia; su objetivo principal es el de alcanzar sustentabilidad. Así, la RMA gobierna el uso y desarrollo del territorio del país, el aire y sus aguas, concentrándose en manejar los efectos ambientales de las actividades humanas.



Según el RMA, el agua, en “todas sus formas”, debe manejarse de acuerdo a sus provisiones, aunque el RMA no menciona específicamente a glaciares o masas de hielo. Según opiniones legales, el hielo de los glaciares es una forma congelada de agua y, por lo tanto, esta comprendida dentro de las provisiones del RMA. Siendo así, cualquier intento de remover o modificar un glaciar (y también un glaciar de roca) requiere una autorización como recurso; expertos legales de Nueva Zelandia estiman que sería muy difícil obtener una autorización de esta naturaleza, y en todo caso, tal autorización debe contemplar todos los efectos actuales y potenciales, como ser interferir con los abastecimientos de agua.

La RMA también se aplica a modificaciones del terreno. Nuevamente según opiniones legales de Nueva Zelandia, considerando que los glaciares descansan sobre el terreno, cualquier intento de remover o modificar glaciares o glaciares de roca, debe necesariamente contar con una autorización para modificar el terreno.

#### **1.2.4.1.14** Pakistán.

Pakistán es una nación de bajos ingresos y con serios problemas de acceso a recursos hídricos. Para mantener su agricultura, y para su desarrollo, Pakistán depende de manera significativa de las aguas aportadas por los glaciares de sus cadenas montañosas. Aún reconociendo esto, no cuenta el país con una normativa legal referente a glaciares.

Aparentemente todos los glaciares de Pakistán se ubican en parques nacionales y áreas protegidas, pero el país reconoce que, si debe recurrir al manejo de glaciares para mejorar el suministro de agua, lo hará.

De hecho, el año 2001 algunos organismos del gobierno de Pakistán consideraron seriamente el iniciar estudios que permitieran encontrar una metodología económica para aumentar los caudales efluentes de los glaciares, de manera de paliar la grave sequía que afectaba regiones del Norte de Pakistán . Sin embargo, el proyecto encontró fuerte resistencia dentro del propio gobierno, además de organizaciones ambientales, de manera que fue archivado.



Las materias ambientales en Pakistán son manejadas por la División Federal para la Planificación y el Desarrollo, dentro de la cual se encuentra el Consejo Pakistani para Protección del Ambiente, que es la agencia directamente encargada de regular los temas ambientales y los estudios de impactos ambientales.

Las materias referidas a los recursos de agua son manejadas por el Ministerio de Agua y Energía, y por los gobiernos provinciales.

#### **1.2.4.1.15 Suiza.**

La situación con respecto a la legislación Suiza relativa a glaciares es similar a aquella de Noruega. Los glaciares son terrenos públicos que pertenecen a la Confederación; además, se entiende que forman parte de los recursos hídricos protegidos por diversas y estrictas leyes. Cualquiera alteración de estos terrenos (o de los glaciares) requiere aprobaciones ambientales, y es probable que cualquier intento de alteraciones mayores en glaciares no contaría con las aprobaciones necesarias.

Actualmente se está recopilando y analizando la legislación que pudiera ser pertinente a glaciares.

En un caso reciente que produjo interés mundial, un centro de ski cubrió con una tela reflectante, aproximadamente 4.000 m<sup>2</sup> de una rampa de nieve que permite el acceso al glaciar Gurschen, utilizado por esquiadores en actividades recreativas. El propósito de la cubierta fue el de proteger la rampa de nieve de la radiación solar.

A pesar de ser exhibido como protección de un glaciar lo anterior, realmente no fue así. Fue un área pequeña, y la intención del trabajo fue de protección. De manera que no hubo intervención de las autoridades ambientales Suizas. Se lo consideró un experimento, realmente no trascendente y no aplicable a glaciares.



#### **1.2.4.2. Resumen de la legislación en otros países.**

En la mayoría de los países los glaciares se encuentran en terrenos que son parques nacionales, o bien terrenos que poseen algún tipo de protección para todo aquello que constituye el medio ambiente. Aún así, la legislación que existe respecto a los glaciares es diversa, desde extremadamente restrictiva respecto a la intervención de glaciares, hasta permisiva en circunstancias especiales.

En Estados Unidos de Norte América y en Nueva Zelandia, existe una tendencia a considerar a los glaciares como masas de hielo que descansan sobre el terreno, y no forman parte de este. Así, los glaciares podrían ser considerados, al igual que los recursos hídricos, bienes públicos aún cuando se encontraren en terrenos privados.

De la información recopilada, se advierte que Italia es el único país en que existe una ley que expresamente declara a los glaciares como bienes de propiedad pública, y prohíbe estrictamente su alteración o modificación. A Italia podría agregarse el caso de Nueva Zelanda, donde los glaciares se entienden incorporados al Acta de Manejo de Recursos, por considerárseles una forma de agua, de manera que cualquier intento de alterarlos debe contar con aprobaciones, las cuales se estima difícil de obtener. En Canadá se está actualmente analizando una ley que expresamente prohíbe afectar las fuentes de aguas, y los glaciares serían considerados como fuentes de agua.

Son más los países en que la legalidad existente no hace mención a glaciares o masas de hielo, pero todos ellos consideran que la legislación ambiental o relativa a recursos hídricos es lo suficientemente explícita como para involucrar a las masas de hielo y prohibir la intervención de glaciares. Aún así, en estos países queda abierta la posibilidad de que autorizaciones especiales permitan afectar glaciares, aún cuando, en general, se estima poco probable que autorizaciones de este tipo puedan otorgarse. En este caso estarían Austria, Canadá (recientemente), Estados Unidos de Norte América, Francia, Japón (aunque no posee glaciares en su territorio), México (porque todos sus glaciares están en parques nacionales), Noruega, Suecia y Suiza.



Países como Argentina, India, Irán y Pakistán tienen legislaciones similares a aquellos mencionados en el párrafo anterior, pero en ellos se considera posible el otorgamiento de autorización para intervenir glaciares, ya sea porque se estima que las consecuencias de estos actos no tendrían un efecto mayor sobre el ambiente, porque existiría un interés de la comunidad en facilitar un desarrollo productivo, o porque se estima que, en casos particulares, no habría un efecto especialmente adverso sobre los recursos hídricos.

Aunque no se han obtenido aún antecedentes suficientes como para afirmar tajantemente la condición legal de las masas de hielo, estimamos que el caso de Argentina, India, Irán y Pakistán, mencionados en el párrafo anterior, se repite en países como Afganistán, Bolivia, China, Perú, Nepal y Turquía.

#### **1.2.4.3. La Convención Alpina de 1991 y el Protocolo para el Agua de 2003.**

Diversos países europeos cuyos territorios incluyen regiones alpinas firmaron el 7 de Noviembre de 1991 la Convención para la Protección de los Alpes. Los países firmantes de la convención son Alemania, Francia, Italia, Austria, Suiza, Eslovenia, el Principado de Liechtenstein y el Principado de Mónaco. La convención busca asegurar una política global de protección y desarrollo sostenible del espacio alpino.

Dentro de la convención, se han ido analizando y aprobando diversos protocolos, presentados por la Comisión Internacional para la Protección de los Alpes. El 18 de Julio de 2003 se presentó el Protocolo para el Agua, aún no suscrito por todos los países. Este protocolo señala explícitamente que sus términos incluyen el agua en todas sus formas (líquida, sólidas y gaseosas) mencionando expresamente a la nieve y el hielo, incluidas las avalanchas, y ya sea en superficie o subterránea (lo cual incluye el permafrost, o suelo helado), y que sus objetivos son la protección y preservación durable del agua..

El párrafo 4) del Artículo 11 del Protocolo para el Agua señala que las partes contratantes del protocolo se comprometen a garantizar la protección de glaciares y a prohibir la explotación de glaciares que contribuya a sus degradaciones o transformaciones. Adicionalmente, las



partes tampoco deben autorizar la instalación en glaciares de nuevas infraestructuras para fines turísticos.

El párrafo 3) del Artículo 12 del Protocolo para el Agua obliga a las partes contratantes a restringir, en el espacio y en el tiempo, la producción de nieve utilizando máquinas para producir nieve en condiciones invernales, con el propósito de conservar agua suficiente en los esteros para propósitos domésticos y del ambiente.

La convención y sus protocolos establecen estrictas medidas de control de sus exigencias, y periódicas revisiones de su cumplimiento

#### **1.2.4.4. La organización para la nieve y glaciares en otros países.**

La forma en que el tema de nieve y glaciares se maneja en diversos países, es variada. En virtualmente todos los países desarrollados existen servicios estatales expresamente dedicados al tema de nieve y glaciares, además de centros de estudios e investigación universitarios. Dentro de los primeros, y sólo a modo de ejemplo, puede señalarse a:

- ❖ División de Glaciología, Dirección de Aguas Continentales, Departamento del Ambiente, Canadá.
- ❖ Sección de Glaciares e Hidrología Ambiental, Dirección de Recursos Hídricos y Energéticos de Noruega (NVE).
- ❖ Instituto Antártico Argentino.
- ❖ Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales.
- ❖ Instituto Nacional de Recursos Naturales, Peru.
- ❖ Centro Alta de Estudios de Avalanchas, Servicio Forestal, U.S.A.
- ❖ Laboratorio de Investigación e Ingeniería para las Regiones Frías, Ejército de U.S.A.
- ❖ Instituto Federal Suizo para el Estudio de Nieve y Avalanchas.
- ❖ Grupo de Meteorología y Glaciología, Instituto Nacional de Investigaciones Polares, Japón.
- ❖ Servicio Británico de Investigaciones Antárticas, Reino Unido.



- ❖ Instituto de Investigación de Avalanchas y Flujos Torrenciales, Ministerio Federal de Agricultura y Bosques, Austria.
- ❖ Instituto Sueco de Geotecnia, Suecia.
- ❖ Instituto Meteorológico de Islandia.
- ❖ Instituto de Investigaciones del Ártico y del Antártico, Servicio Federal Ruso para Hidrometeorología y Monitoreo del Ambiente.
- ❖ Instituto Nacional para la Investigación del Agua y la Atmósfera, Instituto de la Corona de Nueva Zelanda para la Investigación.

Dentro de los segundos se puede mencionar, entre muchos otros, a:

- Laboratorio de Glaciología y Geofísica del Medio Ambiente, Univ. de Grenoble, Francia.
- Laboratorio de Investigaciones Hidráulicas, Hidrológicas y Glaciológicas (VAW) de la Escuela Politécnica Federal (ETH) de Zurich, Suiza.
- Instituto de Investigaciones del Agua, Universidad de Nagoya, Japón.
- Instituto de Ciencias de Bajas Temperaturas, Univ. de Hokkaido, Japón.
- Sociedad Japonesa para Nieve y Hielo.
- Centro de Estudios Polares Byrd, Universidad Estatal de Ohio, U.S.A.
- Instituto de Investigaciones del Ártico y Alpinas, Univ. de Colorado, U.S.A.
- Instituto de Estudios Polares Scott, Univ. de Cambridge, Reino Unido.
- Instituto Lanzhou de Glaciología y Geocriología, Univ. de Lanzhou, China.
- Instituto de Geografía Física, Univ. de Freiburg, Alemania.
- Instituto de Ciencias de la Tierra, Univ. de Upsala, Suecia.
- Departamento de Criolitología, Facultad de Geografía, Univ. de Moscú, Rusia.
- Centro de Datos Glaciológicos, Universidad de Cambridge, Reino Unido.
- Centro Mundial de Datos para Glaciología, Universidad de Colorado (Boulder), U.S.A.
- Centro del Clima y la Criósfera, Universidad de Innsbruck, Austria.
- Centro de Estudios de Glaciares, Universidad Estatal de Pórtland, U.S.A.
- Grupo de Glaciología, Instituto Tecnológico de California, U.S.A.
- Centro de Glaciología, Universidad de Gales, Reino Unido.
- Instituto de Glaciología y Ciencias del Ártico, Universidad de Idaho, U.S.A.





- Grupo de Glaciología, Departamento de la Tierra y el Océano, Universidad de la Columbia Británica, Canadá.
- Grupo de Glaciología, Niels Bohr Instituto de Astronomía, Física y Geofísica, Dinamarca.
- Grupo de Glaciología, Departamento de Geografía Física, Universidad de Estocolmo, Suecia.
- Laboratorio de Glaciología y Geofísica, Universidad Joseph Fourier, Grenoble, y el Centro Nacional de Investigación Científica, Francia.
- Instituto de Nagaoka para Estudios de Nieve y Hielo, Universidad de Nagaoka, Japón.
- Centro de Glaciología de Bristol, Escuela de Geografía, Universidad de Aberystwyth, Gales, Reino Unido.
- Grupo de Glaciología, Departamento de la Tierra y el Océano, Universidad de Columbia Británica, Canada.

Como puede apreciarse, la organización estatal de los trabajos en nieve y glaciares está localizada en instituciones que deben resolver, principalmente, aspectos aplicados de los problemas asociados a la presencia de nieve y glaciares.

Algunas relevantes organizaciones internacionales en el tema de nieve, glaciares y sus variaciones son:

- Sociedad Internacional de Glaciología (IGS).
- Unión Internacional para la Investigación del Cuaternario (INQUA).
- Grupo de Trabajo en Glaciología, Comité Científico de Investigaciones Antárticas (SCAR).
- Servicio de Monitoreo de Glaciares (WGMS) de UNESCO.
- Grupo Internacional de Trabajo en Análisis Geoespacial de Ambientes Englaciados (GAGE).
- Comisión Internacional de Nieve y Hielo (ICSI).
- Grupo de Trabajo en Glaciología del Ártico (WGAG).



### **1.3. LIMITACIONES.**

Las limitaciones del presente estudio son, principalmente y de manera casi exclusiva, aquellas ocasionadas por la brevedad del plazo para confeccionar el informe ante la necesidad de obtener antecedentes de terceros que no necesariamente los entregan con la premura debida.



## **2. LAS ORGANIZACIONES ACTUALES PARA LA NIEVE Y GLACIARES EN CHILE.**

### **2.1. INSTITUCIONES DEL ESTADO.**

En una revisión de la legislación nacional que debiera ocuparse y preocuparse de la protección o manejo de la nieve y glaciares, no se encuentran antecedentes explícitos que normen sobre la materia. Sin embargo, se indican a continuación las funciones generales de los órganos de la administración del Estado que tienen como función la protección de los recursos naturales, en este caso los recursos hídricos, y del patrimonio ambiental.

#### **2.1.1. Comisión Nacional del Medio Ambiente.**

La Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), un servicio dependiente del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, actúa como organismo coordinador de la gestión ambiental del Estado. Su diseño respeta las diversas competencias ambientales de los ministerios y demás servicios públicos, mediante una estructura institucional que busca enfatizar su rol coordinador.

CONAMA administra los siguientes instrumentos de gestión ambiental:

- Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA),
- Normas Ambientales,
- Planes de Prevención y Descontaminación,
- Participación Ciudadana,
- Educación Ambiental,
- Instrumentos Económicos, e
- Información Ambiental.

Particularmente, CONAMA coordina y se pronuncia respecto de las DIA (Declaraciones de Impacto Ambiental) y EIA (Estudios de Impacto Ambiental) de proyectos de inversión públicos y privados que deben ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental



(SEIA).

Debido al ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, principalmente mineros, que consideran afectar glaciares y glaciares de roca, se ha evidenciado y presentado la preocupación entorno a la protección e importancia de las masas de hielo, y en ésto CONAMA ha asumido una actitud de liderazgo. Para la evaluación de temas referidos a glaciares CONAMA recurre a la Dirección de Aguas del Ministerio de Obras Públicas y a asesorías externas (Geoestudios a prestado esas asesorías).

Por otra parte en el desarrollo de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales, que está ejecutando CONAMA y que se encuentran en pleno proceso de elaboración, el comportamiento de los caudales (cantidad) es una variable importante, y en esta variable el aporte de aguas de glaciares y de glaciares de roca está siendo considerado.

### **2.1.2. Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas.**

Una de las funciones del Ministerio de Obras Públicas es administrar el recurso agua a nivel nacional, en lo relativo a su conocimiento, distribución, asignación, uso, conservación y preservación, conforme al Código de Aguas.

La DGA, como servicio dependiente del MOP, es la entidad encargada de planificar el desarrollo del recurso en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento. Le corresponde, también, mantener y operar el servicio hidrométrico nacional, proporcionar y publicar la información correspondiente, y ejercer la labor de policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público. Actúa como coordinadora de programas de investigación del recurso agua, los que corresponda ejecutar a las entidades del sector público y a las privadas con financiamiento del Estado.

En lo respectivo a la labor de monitorear todos los sistemas hídricos del país, la DGA ha entendido que esto incluye a los glaciares y glaciares de roca y que tiene competencia directa en este sentido. Por ello, desde el inicio de la década de los '70 ha realizado catastros



de glaciares y glaciares de roca en diversas cuencas hidrográficas, a montado una estación de monitoreo del glaciar Echaurren en la cuenca alta del Río Maipo en la Región Metropolitana, ha realizado estudios en casos de vaciamientos súbitos y catastróficos de lagos o lagunas pro-glaciares, ha monitoreado condiciones de peligros por violentos deslizamientos glaciares, y controlado rutas de nieve. Sin embargo, falta mucho aún para generar toda la información básica pertinente a glaciares y glaciares de roca, y sólo se han realizado estudios específicos sobre la importancia de los aportes de algunos glaciares al sistema hídrico.

Entre especialistas, existe la opinión, en Chile y también en el extranjero, que siendo los glaciares parte del ciclo hidrológico, el uso o modificación de estos debiera estar regido por el Código de Aguas. Sin embargo, el Código de Agua, que norma el uso y distribución del recurso, y las funciones de la DGA, no es aplicable a glaciares y, para que ello ocurra, es preciso modificar varias de sus disposiciones. A continuación se incluyen artículos del Código de Aguas que pueden ser pertinentes al análisis del presente informe a cuanto la situación de glaciares y glaciares de roca, en cuanto a que podrían ser aplicables o que requieren modificaciones.

**Artículo 1º.** Las aguas se dividen en marítimas y terrestres. Las disposiciones de este Código sólo se aplican a las aguas terrestres.

Son aguas pluviales las que proceden inmediatamente de las lluvias, las cuales serán marítimas o terrestres según donde precipiten

**Artículo 2º.** Las aguas terrestres son superficiales o subterráneas. Son aguas superficiales aquellas que se encuentran naturalmente a la vista del hombre y pueden ser corrientes o detenidas.

Son aguas corrientes las que escurren por cauces naturales o artificiales.

Son aguas detenidas las que están acumuladas en depósitos naturales o artificiales, tales como lagos, lagunas, pantanos, charcas, aguadas, ciénagas, estanques o embalses.

Son aguas subterráneas las que están ocultas en el seno de la tierra y no han sido alumbradas..

**Artículo 3º.** Las aguas que afluyen, continua o discontinuamente, superficial o subterráneamente, a una misma cuenca u hoya hidrográfica, son parte integrante de una



misma corriente.

**Artículo 4º.** Atendida su naturaleza, las aguas son muebles, pero destinadas al uso, cultivo o beneficio de un inmueble se reputan inmuebles.

**Artículo 5º.** Las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorga a los particulares el derecho de aprovechamiento de ellas, en conformidad a las disposiciones del presente Código.

**Artículo 10º.** El uso de las aguas pluviales que caen o se recogen en un predio de propiedad particular corresponde al dueño de éste, mientras corran dentro del predio o no caigan a cauces naturales de uso público.

En consecuencia, el dueño puede almacenarlas dentro del predio por medios adecuados, siempre que no se perjudique derechos de terceros.

**Artículo 30º.** Álveo o cauce natural de una corriente de uso público es el suelo que el agua ocupa y desocupa alternativamente en sus creces y bajas periódicas.

Este suelo es de dominio público y no accede mientras tanto a las heredades contiguas, pero los propietarios riberaños podrán aprovechar y cultivar ese suelo en las épocas en que no estuviere ocupado por las aguas.

Sin perjuicio de lo dispuesto en los incisos precedentes, las porciones de terreno de un predio que, por avenida, inundación o cualquiera causa quedaren separadas del mismo, pertenecerán siempre al dueño de éste y no formarán parte del cauce del río.

**Artículo 32º.** Sin permiso de la autoridad competente, no se podrá hacer obras o labores en los álveos, salvo lo dispuesto en los artículos 8º, 9º, 25º, 26º y en el inciso 2º del artículo 30. (Nota del redactor: estoos artículos se refieren a las obras que pueden ejecutar quienes tienen derechos de aguas).

**Artículo 35º.** Álveo o lecho de los lagos, lagunas, pantanos y demás aguas detenidas, es el suelo que ellas ocupan en su mayor altura ordinaria. Este suelo es de dominio privado, salvo cuando se trate de lagos navegables por buques de más de cien toneladas.

**Artículo 41º.** El proyecto, construcción y financiamiento de las modificaciones que fuere necesario realizar en cauces naturales o artificiales, con motivo de la construcción de obras públicas, urbanizaciones edificaciones y otras obras en general, serán de responsabilidad y de cargo de quienes las ordenen.

Se entenderá por modificaciones no sólo el cambio de trazado de los cauces mismos, sino también la alteración o sustitución de cualquiera de sus obras de arte y la construcción de



nuevas obras, como abovedamientos, pasos sobre o bajo nivel o cualesquiera otras de sustitución o complemento.

La operación y la mantención de las nuevas obras seguirán siendo de cargo de las personas o entidades que operaban y mantenían el sistema primitivo. Si la modificación introducida al proyecto original implica un aumento de los gastos de operación y mantención, quien la encomendó deberá pagar el mayor costo.

**Artículo 123º.** Si se hicieren estacadas, paredes u otras labores que tuerzan la dirección de las aguas corrientes, de manera que se derramen sobre suelo ajeno, o estancándose lo humedezcan o priven de su beneficio a los predios que tienen derechos a aprovecharse de ellas, mandará el Juez, a petición de los interesados, que tales obras se deshagan o modifiquen y se resarzan los perjuicios.

**Artículo 171º.** Las personas naturales o jurídicas que desearan efectuar modificaciones a que se refiere el artículo 41 de este Código, presentarán los proyectos correspondientes a la Dirección General de Aguas, para su aprobación previa, aplicándose a la presentación el procedimiento previsto en el párrafo 1º de este Título....

**Artículo 172º.** Si se realizaren obras con infracción a lo dispuesto en el artículo anterior, la Dirección General de Aguas podrá aperebrir al infractor, fijándole plazo perentorio para que modifique o destruya las obras que entorpezcan el libre escurrimiento de las aguas o signifiquen peligro para la vida o salud de los habitantes.

**Artículo 298º.** La Dirección General de Aguas es un servicio dependiente del Ministerio de Obras Públicas. El Jefe Superior de este servicio se denominará Director General de Aguas y será de la exclusiva confianza del Presidente de la República.

**Artículo 299º.** La Dirección General de Aguas tendrá las atribuciones y funciones que este Código le confiere, y, en especial, las siguientes:

- a) Planificar el desarrollo del recurso en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento;
- b) Investigar y medir el recurso. Para ello deberá:
  1. Mantener y operar el servicio hidrométrico nacional y proporcionar y publicar la información correspondiente.
  2. Encomendar a empresas u organismos especializados los estudios e informes técnicos que estime conveniente y la construcción, implementación y operación de las obras de medición e investigación que se requiera.



3. Propender a la coordinación de los programas de investigación que corresponda a las entidades del sector público y a las privadas que realicen esos trabajos con financiamiento parcial del estado.
  4. Para la realización de estas funciones la Dirección general de Aguas deberá constituir las servidumbres a que se refiere el artículo 107;
- c) Ejercer la policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público e impedir que en éstos se construyan, modifiquen o destruyan obras sin la autorización del Servicio o autoridad a quien corresponda aprobar su construcción o autorizar su demolición o modificación, y
  - d) Supervisar el funcionamiento de la juntas de vigilancia, de acuerdo con lo dispuesto en este Código.

En la DGA se prevé que el tema de afectación de glaciares será más relevante a futuro, en la medida que las empresas mineras presenten nuevos planes y declaren sus planes de intervenir glaciares, lo cual obligará al servicio a poseer una capacidad de auditoría de la intervención en las masas glaciares.

### **2.1.3. Servicio Agrícola y Ganadero**

El Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), del Ministerio de Agricultura, regula y administra la provisión de incentivos que faciliten la incorporación de prácticas de conservación en el uso de las aguas (Ley 18.755, publicada en el Diario Oficial de 07.01.89).

El SAG fiscaliza la aplicación de la Ley 18.378, sobre distritos de conservación de suelos, bosques y aguas, y denuncia sus infracciones. Promueve las iniciativas tendientes a la conservación de las aguas y al mejoramiento de la extracción, conducción y utilización del recurso con fines agropecuarios.

La Ley 18.755 arriba mencionada, establece normas sobre el SAG, y en su Párrafo I del Título I define la naturaleza, objetivo y facultades del servicio. En el artículo 3º de la ley se señalan las funciones y atribuciones del servicio como sigue:





**Artículo 3º.** Para el cumplimiento de su objeto, corresponderá al Servicio el ejercicio de las siguientes funciones y atribuciones:

g) Efectuar los estudios y elaborar las estadísticas que sean necesarias. En el cumplimiento de esta función podrá realizar estudios y catastros específicos para conocer la magnitud y estado de los recursos naturales renovables del ámbito agropecuario y establecer normas técnicas para los estudios de la carta nacional de suelos. Asimismo, podrá recopilar y clasificar información y desarrollar programas de divulgación y capacitación, en cuanto lo requiera el cumplimiento de su objeto. En el desarrollo de su función, el Servicio deberá coordinarse con las instituciones del Estado para la recopilación de estudios y preparación de catastros especialmente con aquellos que realizan actividades de la misma naturaleza.

k) Aplicar y fiscalizar el cumplimiento de las normas legales y reglamentarias sobre caza, registros genealógicos y de producción pecuaria, apicultura, defensa del suelo y su uso agrícola, contaminación de los recursos agropecuarios, habilitación de terrenos y protección de la flora del ámbito agropecuario y de la fauna terrestre bravia, cuyo hábitat esté en los ríos y lagos.

l) Promover las medidas tendientes a asegurar la conservación de suelos y aguas que eviten la erosión de éstos y mejoren su fertilidad y drenaje. Además, promoverá las iniciativas tendientes a la conservación de las aguas y al mejoramiento de la extracción, conducción y utilización del recurso, con fines agropecuarios. Asimismo, regulará y administrará la provisión de incentivos que faciliten la incorporación de prácticas de conservación en el uso de suelos, aguas y vegetación.

#### **2.1.4. Corporación Nacional Forestal.**

La Corporación Nacional Forestal (CONAF) tiene la misión de “Garantizar a la sociedad el uso sostenible de los ecosistemas forestales y del patrimonio natural”, mediante la fiscalización del cumplimiento de la legislación forestal, la Administración de las Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) lo que incluye parques nacionales, reservas, y otras, la administración de instrumentos de fomento de la actividad forestal y la protección de los recursos forestales.



De hecho, dentro del SNASPE se encuentra la gran mayoría de las masas glaciares del país, muchas de ellas al interior de parques nacionales o de reservas forestales, y cuando CONAF ha requerido realizar algún estudio específico de la situación de algún glaciar, ha recurrido a la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (ejemplo, glaciar Dickson en el Parque Nacional Torres del Paine).

## **2.2. LA LEGISLACIÓN NACIONAL.**

### **2.2.1. Estado actual.**

No existe en la legislación chilena referencias específica a nieves o glaciares (incluyendo los glaciares de roca), y si bien existe la opinión, probablemente mayoritaria, entre especialistas e instituciones de gobierno, en cuanto a que las masas de hielo si debieran estar contempladas y su eventual uso o afectación normados en el Código de Aguas como una de las importantes fuentes de recursos hídricos, el Código en su redacción actual es inaplicable al manto nivoso y los glaciares y glaciares de roca. Por lo mismo, también, la Dirección General de Aguas no posee atribuciones para fiscalizar eventuales intervenciones en los glaciares o glaciares de roca, pero sí se siente presionada por necesidades de evaluación de las condiciones de estas masas de hielo.

Así, el manto nivoso y los glaciares están en una situación incierta respecto a quien pertenecen y quien controla su eventual utilización. Puede ejemplificarse esto señalando que la lluvia y la nieve que cae no tiene dueño, pero las aguas que ellas originan, una vez entradas en los cauces, son públicas; los glaciares, que retienen la precipitación nival que sobre ellos cae y regulan los caudales producidos por la lenta fusión de la nieve y hielo, no se sabe a quien pertenecen.

Los glaciares descansan sobre el terreno, y no forman parte de éste, de manera que, en principio, no pertenecen a los dueños de la propiedad en que se encuentran. Si se consideran los glaciares como una forma de reservorio de agua, tal cual lagos o lagunas, podría aplicarse algún criterio similar a estos últimos, en cuanto a que el terreno bajo



glaciares es de propiedad pública.

Debido a que el manto nivoso y los glaciares no existen en normativa alguna, varios organismos o servicios del estado se sienten con alguna responsabilidad en cuanto a fiscalizar la utilización o manejo de estas masas de hielo. La DGA por cuanto son una parte esencial del ciclo hidrológico e independiente de si se ubican en terrenos públicos o privados, y CONAMA por cuanto es un recurso natural importante que no puede ser afectado sin su consentimiento. Para CONAF los glaciares son solamente importantes en cuanto a un recurso más dentro de algunas de las áreas silvestres protegidas y bajo su tutela, aunque muy importantes por su valor paisajístico. El SAG siente que debe preocuparse de la conservación de las aguas que emanan, entre otras fuentes, de los glaciares, y de los suelos entorno a los glaciares.

En la actual situación, es evidente la necesidad de incorporar a los glaciares y glaciares de roca en una legislación sobre fuentes de agua, que establezca dominios, permita o restrinja eventuales usos, y establezca los servicios del estado responsables de supervisar la condición y el eventual manejo de los glaciares o glaciares de roca. En todo caso, existe un proyecto de ley reciente, aún en discusión en el Senado, que de aprobarse prohibirá cualquier intervención en los glaciares, y cualquier actividad excepto la “ecoturística” o científica.

El dictamen de CONAMA respecto al Estudio de Impacto Ambiental del proyecto minero Pascua Lama si bien prohíbe al titular afectar los glaciares, no lo exige de manera permanente. Lo que la resolución dictada por CONAMA realmente expresa es que, debido a que los antecedentes aportados por el titular en cuanto a los glaciares son insuficientes, se le prohíbe intervenir glaciares. Esta resolución tiene los siguientes efectos:

- ❖ Permite al titular operar la mina, pero le prohíbe afectar glaciares, lo cual reduce significativamente la extensión del rajo de la futura mina.
- ❖ La resolución de CONAMA deja abierta la posibilidad que, en los próximos años y con los antecedentes adecuados, el titular vuelva a solicitar autorización para intervenir los glaciares.
- ❖ El titular debe considerar que las resoluciones en materias ambientales son más



restrictivas con el paso del tiempo, y si bien ahora CONAMA permite la posibilidad de presentar una nueva solicitud para afectar glaciares, en el futuro solicitudes de este tipo pueden tener menores posibilidades de éxito.

El reciente dictamen de CONAMA respecto al proyecto de ampliación de la mina Los Bronces de Anglo American no hace mención a la intervención de glaciares, aún cuando dentro de los considerandos iniciales se sugirió el monitoreo de algunos glaciares, incluso en la relativamente distante hoya hidrológica del Río Olivares.

### **2.2.2. Proyecto de ley, 2005.**

El 16 de Agosto de 2005, ingresó a la Comisión de Recursos Naturales, Bienes Nacionales y Medio Ambiente de la Cámara de Diputados del Congreso Nacional un proyecto de ley (Boletín 3947-12) patrocinado por los diputados Sres. Roberto Delmastro, Arturo Longton, Leopoldo Sánchez y Antonio Leal, el que se refiere a prohibir la ejecución de proyectos de inversión en los glaciares de Chile.

El proyecto se aprobó en general en primer trámite constitucional en la Comisión antes referida, en la sesión del 30-31 de Agosto 2005, pero actualmente ha sido retirado.

El proyecto, de aprobarse como había sido propuesto, habría impedido cualquiera alteración antrópica de los glaciares de Chile.

### **2.2.3. Moción en el Senado sobre valoración y protección de glaciares, 2006.**

En Abril del 2006 los senadores Sres. Antonio Horvath, Carlos Bianchi, Guido Girardi, Carlos Kuschel y Alejandro Navarro presentaron en el Senado de la República de Chile una moción sobre valoración y protección de glaciares (ver Anexo 2), esencialmente siguiendo la línea del proyecto de ley del año 2005 (ver sub-capítulo anterior), la que inició su tramitación en el Senado el 16 de Mayo de 2006 como Boletín N° 4205-12. En esta moción se proponen cambios a la Ley del Medio Ambiente y al Código de Aguas. Al igual que en el proyecto de ley del año 2005, esta moción pretende impedir cualquier alteración antrópica de los glaciares de



Chile.

El proyecto ha sido aprobado en la Comisión de Medio Ambiente y Bienes Nacionales del Senado, y está en Primer Trámite Constitucional en el Senado, donde se aprobó en general en la sesión N° 79, del 20 de Diciembre de 2006. Al día de hoy se han introducido varias indicaciones al proyecto.

#### **2.2.4. Propuesta de Política Nacional de Glaciares.**

En el Anexo 3 se presenta un resumen de las lineamientos generales para la elaboración de la Política Nacional de Glaciares, que actualmente se esta trabajando y que ha sido propuesto por el Grupo de Trabajo de Glaciares, constituido especialmente por las siguientes instituciones, representadas por sus Subsecretarios y Jefes de Servicio: Ministerio de Minería, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Economía, Dirección General de Aguas, Comisión Nacional del Medio Ambiente y División Coordinación Interministerial de la SEGPRES.

### **2.3. CENTROS DE ESTUDIO E INVESTIGACIÓN.**

Si bien han existido intentos de formar carreras o especializaciones a nivel universitario en el ámbito de los problemas de nieve y glaciares, prácticamente todos ellos han sido de corta duración (Universidades de Chile, Católica de Santiago, Magallanes, de La Serena), esencialmente porque dependían de la presencia y empuje de un solo profesor-investigador en el plantel, con escaso apoyo institucional.

Actualmente, la única institución con un significativo programa de estudios glaciológicos es el Centro de Estudios Científicos (CECS) una organización privada sin fines de lucro, radicada en Valdivia, y que en el área de la glaciología está dedicada principalmente a la investigación de variaciones recientes en los glaciares, relacionadas con cambios climáticos, y apoyada en su funcionamiento por fondos estatales, recursos externos y programas internacionales de investigación (mayoritariamente en la Antártica). En el CECS labora un especialista



glaciólogo de la institución, y colabora parte del tiempo otro especialista del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile, y cuenta con ocasionales especialistas como visitas extranjeras, personal auxiliar y estudiantes de pre- y post-grado.

En el Departamento de Geografía de la Universidad de Chile existe el Laboratorio de Glaciología, virtualmente con un solo especialista y la participación temporal de algunos estudiantes. Las labores de este Laboratorio son apoyadas por el CECS de Valdivia.

La Universidad Católica de Chile, Santiago, consideró pocos años atrás la posibilidad de dictar cursos breves relacionados con nieve y protecciones de avalanchas. Finalmente, no se realizaron.

En los últimos tres años una persona de la Universidad de La Serena han intentado realizar estudios en glaciares de roca, sin contar con una especialización en el tema y con escaso apoyo interno y externo. Sus esfuerzos no han logrado aportes al conocimiento de glaciares.

En la Universidad de Magallanes se creó el año 2002 la fundación Centro de Estudios del Cuaternario (CEQUA), con apoyo de CONICYT y fondos regionales. El Centro no cuenta con especialistas en glaciología, pero sus estudios tienen relación directa con las variaciones climáticas en la región y, en algunos casos, con las variaciones de los glaciares. En el CEQUA laboran unos pocos profesionales y participan estudiantes de la universidad.

El Instituto Antártico Chileno suele apoyar programas específicos de investigación glaciológica, que le presentan las universidades o el CECS, pero no cuenta con programa propio ni con especialistas.

La Escuela Nacional de Instructores de Ski, Asociación Gremial (ENISCHAG), realiza desde varios años cursos breves (a distintos niveles) de observaciones en el manto de nieve, orientadas a predicciones de avalanchas. Los cursos son dictados por personal de la empresa Geoestudios Ltda.



## **2.4. SERVICIOS PROFESIONALES Y EMPRESAS.**

Virtualmente la única empresa que presta servicios profesionales en el área de glaciología (y principalmente avalanchas y glaciares) en Chile, es Geoestudios. En esta disciplina sirve también a instituciones y empresas en otros países de Latinoamérica, como Argentina y Perú. Entre otros, esta empresa también realiza cursos de nieve, avalanchas y glaciares, de diferentes niveles y duración, a solicitud de clientes específicos.

Estudios de nieve y glaciares están siendo desarrollados en Chile por diversas empresas mineras y energéticas, casi todos ellos mediante contratos de servicios con Geoestudios y, algunos, con empresas de servicios extranjeras (las que suelen subcontratar a Geoestudios).

Importantes estudios de glaciares ha desarrollado y continúa haciéndolo CODELCO en su División Andina. En menor grado lo hacen Anglo-American en la mina Los Bronces, y otras empresas y proyectos como la mina El Indio (ahora cerrada), minera Pelambres, el proyecto minero Pascua-Lama, la vertiente chilena del proyecto minero Pachón en Argentina, el proyecto minero El Morro, el proyecto hidroeléctrico Alchi (actualmente detenido), el proyecto hidroeléctrico HydroAysén, el proyecto hidroeléctrico HydroChile, y otros.

El inventario de glaciares del país está incompleto. Inventarios de glaciares han sido realizados inicialmente por C. Marangunic bajo contrato con la DGA, más recientemente por A. Rivera, también por personal de la DGA, y como tesis de estudiantes universitarios. De todas las cuencas hidrológicas del país la única que cuenta con inventario completo es aquella de la hoya del Río Maipo. En otras cuencas no se han incluido glaciares de roca, mientras que en la zona austral de Chile se han inventariado principalmente los grandes glaciares efluentes de los campos de hielo, pero no los innumerables glaciares más pequeños.

Estudios de peligro y riesgos de avalanchas han sido desarrollados por la mayoría de las empresas que operan en la alta montaña, y por instituciones como el MOP. Ellos han estado enfocados en la operación y protección del tráfico en carreteras, y en la protección de su infraestructuras (edificios, plantas, acopios, embalses de agua, etc.).



## **2.5. LOS COMPROMISOS INTERNACIONALES DE CHILE.**

### **2.5.1. La Convención sobre los Humedales.**

Chile es parte contratante de la Convención sobre los Humedales (firmada en Ramsar, Irán, 1971). Esta Convención es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y uso racional de los humedales y sus recursos. Hay actualmente 150 Partes Contratantes en la Convención. Entre muchos otros tipos de humedales, la convención define como **humedales alpinos o de montaña** también las aguas estacionales originadas por el deshielo de nieve.

En la 9ª Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención de los Humedales, realizada en Kampala, Uganda, Noviembre de 2005, se elaboró el documento “Estrategia Regional de Conservación y Uso Sustentable de los Humedales Altoandinos”, suscrito y aprobado por Chile entre otros países. En la Introducción de este documento, la que se transcribe a continuación, se incluye expresamente a los **glaciares** como un tipo de humedales, por ser ellos fuentes de agua:

“Esta estrategia se trata de un marco orientador para la cooperación regional entre los países involucrados, con una proyección de 10 años (2005-2015). Su propósito es la conservación y uso sostenible de los humedales y complejos de humedales en ecosistemas de páramo, jalca y puna, y otros ecosistemas altoandinos. Dichos humedales incluyen glaciares, lagos, lagunas, pastos húmedos, bofedales, mallines, vegas de altura, salares y turberas, ríos, arroyos y otros cuerpos de agua, definidos como humedales dentro de la clasificación de la Convención de Ramsar, incluyendo sus cuencas de captación, que se encuentran en la Cordillera de los Andes y otros sistemas montañosos de América Latina.”

### **2.5.2. El Tratado Chile-Canadá para la Cooperación Ambiental.**

El gobierno de Canadá se preocupa de proteger el ambiente también en otros países.

En el marco del Tratado de Libre Comercio Entre Chile y Chile-Canadá, de 1997, se firmaron dos acuerdos. Uno de ellos, el Acuerdo de Cooperación Ambiental Chile-Canadá permite, en





su Artículo 14 “Peticiones relativas a la aplicación de la legislación ambiental”, que cualquier ciudadano u organización acuda al tratado con un reclamo si estima que las reglas de protección ambiental no son respetadas. En el caso de Chile se refiere a las resoluciones ambientales que dicta CONAMA en los proyectos específicos que evalúa.

Los eventuales reclamos son vistos por el Comité Conjunto de Revisión de Peticiones del acuerdo.

### **2.5.3. El territorio antártico.**

Chile es parte del tratado antártico y del Comité Científico para las Investigaciones en la Antártica (SCAR). El Instituto Antártico Chileno a apoyado estudios de glaciología en la Antártica, pero sin investigadores propios, tan solo otorgando recursos a ocasionales proyectos que presentan las universidades u otras instituciones.



### **3. PLAN DE TRABAJO 2008 – 2011.**

#### **3.1. TAREAS QUE DEBE ABORDAR LA UNG.**

##### **3.1.1. Listado de tareas.**

Las principales tareas a que debiera abocarse la Unidad de Nieve y Glaciares (UNG) en la DGA se exhiben en el listado a continuación. En este listado se incluyen las sub-tareas más relevantes, algunas de las cuales han sido (o están siendo) abordadas en la DGA, y la prioridad (resaltada en negrita) que estimamos debe atribuirse a cada tarea:

- a) Manto de nieve y fusión de este.
  - i. Extensión y espesor en relación con parámetros meteorológicos **(1ª)**.
  - ii. Características del manto de nieve **(1ª)**.
  - iii. Tasas de fusión en relación con parámetros meteorológicos **(2ª)**.
- b) Glaciares.
  - i. Inventario de glaciares en todo el país **(1ª)**.
  - ii. Línea base (características) de glaciares seleccionados **(1ª)**.
  - iii. Modelo 2D y 3D de simulación del comportamiento de glaciares **(2ª)**.
  - iv. Variaciones glaciares, cuaternarias a recientes **(3ª)**.
  - v. Control y protección de glaciares **(1ª)**.
- c) Hielo lacustre y témpanos.
  - i. Modelo predictivo de formación y persistencia **(2ª)**.
  - ii. Propiedades físicas del hielo lacustre **(3ª)**.
  - iii. Efecto sobre el balance hídrico lacustre **(2ª)**.
- d) Hielo en suelos helados.
  - i. Extensión del suelo helado permanente y temporal **(3ª)**.
  - ii. Volúmenes de hielo en el suelo helado **(3ª)**.
  - iii. Efectos en la hidrología de las cuencas **(3ª)**.
- e) Peligros y riesgos consecuentes.
  - i. Avalanchas de nieve y sistemas de protección **(1ª)**.
  - ii. Deslizamiento catastrófico de glaciares **(3ª)**.



- iii. Vaciamiento súbito de lagunas pro-glaciares (**3ª**).
- iv. Lahares en conos volcánicos (**1ª**).
- v. Deformaciones en suelos helados (**3ª**).
- f) Investigación en temas especiales.
  - i. Biodiversidad en glaciares y suelos helados (**3ª**).
  - ii. Creación de nuevos glaciares (**2ª**).
  - iii. incremento artificial de la fusión de nieves y glaciares (**3ª**).

### **3.1.2. Breve descripción de las tareas y sus prioridades.**

Se consideran como trabajos prioritarios que debe abordar la UNG los siguientes:

a) Manto de nieve y fusión de este – **primera prioridad.**

- i. Extensión y espesor en relación con parámetros meteorológicos.

Montar un SIG con imágenes satelitales en línea, que permita determinar la extensión del manto de nieve en las diversas zonas o regiones del país. Esta determinación debe realizarse, a lo menos, cada dos semanas.

Como primera prioridad, la información de extensión del manto de nieve debe obtenerse para las regiones 1ª a 6ª.

En las áreas cubiertas con nieve debe discriminarse grados de pendiente, aspecto (hacia donde mira la pendiente), cota y sombra.

- ii. Características del manto de nieve – **primera prioridad.**

Complementar la red de estaciones nivo-meteorológicas automáticas, instalando a lo menos una en cada región administrativa del país y a lo menos dos en cada una de las regiones XI y XII. Cada estación debe contar con:

- ❖ Sensores de temperatura en tres niveles.
- ❖ Sensores de velocidad y dirección de viento en tres niveles.



- ❖ Sensor de presión atmosférica.
- ❖ Sensor de humedad relativa.
- ❖ Sensor de altura de nieve sobre el suelo.
- ❖ Sensor de densidad de nieve (colchón).
- ❖ Sensor de radiación solar (onda corta) incidente.
- ❖ Sensor de radiación solar (onda corta) reflejada.
- ❖ Sensor de radiación infrarroja (onda larga) incidente.
- ❖ Sensor de radiación infrarroja (onda larga) emitida desde el suelo.
- ❖ Sensor de precipitación.
- ❖ Mastil de altura adecuada para espesores de nieve en cada región.
- ❖ Panel solar.
- ❖ Baterías, y sensor de estado de ésta.
- ❖ Modulo de almacenamiento de datos.
- ❖ Equipo de transmisión de datos.

Cada estación automática debe tener la capacidad de almacenar datos horarios durante todo un año, y conexiones para bajar datos a un PC portátil o a un “pendrive” de alta capacidad. Los sensores de viento y precipitación deben ser calefaccionados, y la capacidad del panel solar y batería suficientes para alimentar esta demanda de energía. El mástil y los sensores deben ser lo suficientemente robustos para resistir los vientos en tormentas invernales.

Adicionalmente, cada estación debe contar con un nivómetro acumulador, de altura adecuada, una red de nueve estacas de altura de nieve, un poste para observación de altura de nieve desde distancia (por ejemplo, helicóptero), un tanque de evaporación y una caseta con evaporímetro de tipo Piche u otro.

Cada estación debiera ser visitada a lo menos tres veces al año, al inicio y al final de la época veraniega, y a mediados del invierno. Durante las visitas se deben bajar datos almacenados, realizar las observaciones de nieve, y realizar el mantenimiento necesario de los equipos.



- iii. Tasas de fusión en relación con parámetros meteorológicos – **segunda prioridad.**

Si bien es una materia de primera importancia, la priorización en segundo grado ocurre porque la DGA cuenta ya con procedimientos básicos para estimar caudales efluentes del manto de nieve.

b) Glaciares.

- i. Inventario de glaciares en todo el país.

La única hoya hidrográfica que cuenta con un inventario completo de glaciares es aquella del Río Maipo. En algunas otras se han realizado inventarios parciales, de solo ciertos tipos de glaciares, en varias otras no existe inventario. El inventario de la hoya de Río Maipo es de la época de los '70 con fotografías aéreas de la época de los '50, de manera que necesita ser actualizado.

Se estima de **primera prioridad** contar con inventarios completos de los glaciares en las regiones 1<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> , además de la 13<sup>a</sup> y 15<sup>a</sup> región. Los inventarios deben ser realizados según las normas UNESCO al respecto e incluir todos los tipos de formas glaciares. Para el inventario debe emplearse la más reciente fotografía aérea, de mejor calidad. Las imágenes deben georeferenciarse, empleando planos topográficos del IGM. El contorno de los glaciares, y otras características de estos, debe trazarse sobre las imágenes georeferenciadas.

- ii. Línea base (características) de glaciares seleccionados.

El único glaciar que cuenta con algunos controles sistemáticos es el Echaurren, en la Región Metropolitana, aunque no con una línea base completa. De muy pocos otros glaciares en el país se cuenta con algunos antecedentes, siempre de estudios esporádicos. La mayor parte de estos se refiere a retrocesos o avances de glaciares. Recientemente, la División Andina de CODELCO ha iniciado el estudio sistemático de una línea base completa de glaciares



ubicados en su entorno.

Estimamos que en el país debe existir un estudio de línea base y control sistemático de al menos seis glaciares blancos típicos, ubicados en el Norte Grande, Norte Chico, Centro, Sur y Austral (2 en esta zona). Además, debe existir información y control sistemático en tres típicos glaciares de roca, ubicados en el Norte Grande, Norte Chico y Centro del país. Idealmente, los glaciares blancos y de roca en las tres zonas mas septentrionales debieran estar vecinos, para facilitar la logística de los trabajos, complementar estudios y reducir costos.

Los glaciares típicos deben seleccionarse considerando:

- ❖ Tamaño mediano a chico, que permita ser controlado con cierta facilidad, y que responda rápidamente a cambios climáticos.
- ❖ De acceso simple, en lo posible con camino cercano. Incluso es conveniente invertir recursos en construir una huella de acceso para vehículo 4x4.
- ❖ Con características de ubicación y modo de alimentación que representen a la mayoría de los glaciares en su zona.

Estimamos de **primera prioridad** seleccionar un glaciar blanco y otro de roca en el Norte Chico, e iniciar sus estudios. También consideramos de **primera prioridad** seleccionar e iniciar los estudios en un glaciar de roca de la zona Centro, además de seleccionar un nuevo y más accesible glaciar blanco; los controles en el glaciar Echaurren deben mantenerse a lo menos tres años simultáneamente con el nuevo glaciar blanco. Respecto a los glaciares recomendados ver capítulo 3.1.3.

Los estudios y controles anuales a realizar en los glaciares seleccionados son:

- ❖ Balance de masa (incluye balances de hielo, calórico e hídrico).
- ❖ Desplazamiento y variaciones de cota de la superficie (puntos controlados con topografía de precisión).



- ❖ Mediciones de variación de temperatura en los 15 o 20 m más superficiales, con sensores de temperatura insertos en sondajes cortos y conectados a un data-logger.
- ❖ Mediciones de esfuerzos en la superficie del glaciar, en tres “redes de hielo” y con huincha milimétrica.

Los estudios a realizar una vez en la vida del glaciar, no necesariamente en el primer año pero si tan pronto los recursos lo permitan, incluyen:

- ❖ Determinaciones de espesor con métodos geofísicos (sísmica, gravimetría, radar) en diversos puntos o perfiles del glaciar.
  - ❖ A lo menos un sondaje (idealmente dos o tres) hasta la base del glaciar para determinar estratigrafía y temperatura, para establecer la gradiente de velocidad mediante variación de la inclinación del sondaje (medida con inclinómetro), y para determinar las características geotécnicas de muestras del material (morrena u otro) en la base del glaciar.
  - ❖ Evaluación de la estabilidad mecánica ante eventuales fallas catastróficas en la masa del glaciar.
  - ❖ Estudio del Cuaternario para determinar las variaciones glaciares en el valle en que se inserta el glaciar.
- iii. Modelo 2D y 3D de simulación del comportamiento de glaciares – **segunda prioridad.**
- iv. Variaciones glaciares, cuaternarias a recientes – **tercera prioridad.**
- v. Control y protección de glaciares – **primera prioridad.**

Personal de la DGA deberá, ya desde el próximo verano, controlar la actividad de privados en, o cerca de, glaciares. Entre otros, por recomendaciones de CONAMA. Este personal debe ser capacitado, con cursos, en el conocimiento de los glaciares.

Este es un trabajo que requiere solamente visitas esporádicas (y sus informes) a faenas y proyectos en, o cerca de, masas glaciares de manera de comprobar la correcta ejecución de los programas aprobados por CONAMA y la protección de glaciares en general. Se trata de visitas a terreno, de especialistas con experiencia, y con recurrencias de 3 o 4 veces al año en cada proyecto. Es un



trabajo esporádico, a realizar preferentemente entre Noviembre y Mayo pero sin excluir otros meses invernales para trabajos en el norte Chico y Grande.

Las fiscalizaciones comprenden, actualmente, faenas y proyectos mineros, proyectos energéticos, centros de ski y parques nacionales (especialmente aquellos con programas que incluyen trayectos sobre glaciares).

c) Hielo lacustre y témpanos.

- i. Modelo predictivo de formación y persistencia – **segunda prioridad.**
- ii. Propiedades físicas del hielo lacustre – **tercera prioridad.**
- iii. Efecto sobre el balance hídrico lacustre – **segunda prioridad.**

d) Hielo en suelos helados.

- i. Extensión del suelo helado permanente y temporal – **tercera prioridad.**
- ii. Volúmenes de hielo en el suelo helado – **tercera prioridad.**
- iii. Efectos en la hidrología de las cuencas – **tercera prioridad.**

e) Peligros y riesgos.

- i. Avalanchas de nieve y sistemas de protección – **primera prioridad.**

La Dirección de Vialidad del MOP ha desarrollado diversos estudios de avalanchas y protecciones en la carretera Los Andes – Paso Libertadores. Aún así es necesario integrar estos estudios y llevarlos todos ellos al nivel de calidad como se requiere en el Manual de Carreteras (ver en el manual el capítulo 3.900 Riesgo y protección de avalanchas de nieve) de la propia Dirección de Vialidad.

Es necesario realizar los estudios de nieve y protecciones de avalanchas en otras carreteras, como el paso por Laguna Negra, Pehuenche y otros. Según un programa acordado con la Dirección de Vialidad.

Estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo de avalanchas de nieve pueden





estimarse inicialmente tan solo como compra de servicios externos que realiza la DGA en sitios o proyectos de interés especial. A juzgar por el volumen de estos estudios en el país, podría estimarse las necesidades de la DGA como de dos proyectos por año.

- ii. Deslizamiento catastrófico de glaciares – **tercera prioridad.**
- iii. Vaciamiento súbito de lagunas pro-glaciares – **tercera prioridad.**
- iv. Lahares en conos volcánicos – **primera prioridad.**

Estudios de formación y peligro y riesgo de lahares entorno a volcanes activos con presencia de glaciares en sus conos, han sido desarrollados por personal del SERNAGEOMIN, algunas Universidades, y privados. Los estudios más completos al respecto se refieren al volcán Villarrica, pero resta aún por realizar o completar otros en el entorno de numerosos volcanes.

La UNG debiera coordinarse con los municipios que deben incluir en sus Planos Reguladores el peligro de lahares, para apoyarlos en cuanto a los requisitos y resultados que deben esperarse de los estudios de glaciares. También, debe señalar la necesidad de desarrollar estos estudios a aquellas municipalidades que no los contemplan.

- vi. Deformaciones en suelos helados – **tercera prioridad.**
- f) Investigación en temas especiales.
- i. Biodiversidad en glaciares y suelos helados – **tercera prioridad.**
  - ii. Creación de nuevos glaciares –**primera prioridad.**  
Desarrollo de una metodología para la creación de nuevos glaciares, mediante un métodos auto-sustentable de incremento de la alimentación de glaciares con nieve (por sobre la tasa de precipitación normal en un área), y de reducción de pérdidas de masa de nieve o hielo.



- iii. Incremento artificial de la fusión de nieves y glaciares –**segunda prioridad**.  
Durante el verano 1968-1969, al término de un período de extrema sequía, se realizó en Chile un exitoso proyecto para incrementar artificialmente la fusión en la superficie de glaciares. El estudio fue realizado en conjunto por personal de la Universidad de Chile y ENDESA y, como resultado del mismo, se logró incrementar en cerca de un 300% la tasa de fusión superficial en un glaciar seleccionado de la cuenca del Río Cachapoal. El valor del agua en la cuenca permitía, con la metodología empleada, financiar los costos de producción de ella- No existe otro estudio similar en el mundo, y los resultados logrados el año 1969 fueron elogiados internacionalmente.

Actualmente, con los cambios en la percepción pública sobre la intervención en glaciares, no sería posible explotarlos, excepto probablemente en situaciones extremas. Pero si en conjunto con ello existe la posibilidad de generar un nuevo glaciar (o re-generar uno existente), es conveniente preparar una tecnología que permita utilizar los recursos hídricos que representan los glaciares.

### **3.1.3. Plan de trabajo 2008-2011.**

El Plan de Trabajo 2008-2011 debe abordar las tareas señaladas más arriba como de primera prioridad, considerando un esquema de trabajo como el que se propone a continuación en la Tabla 3.1.3-A. La división del territorio nacional en sedes de la UNG se explica en el capítulo 9.1.2.

**Tabla 3.1.3-A. Esquema del Plan de Trabajo 2008-2011.**

	<b>ACTIVIDADES</b>
<b>08</b>	<b>Plan de trabajo 2008</b>
	Definir persona responsable (temporalmente) de organizar la UNG, con sede en Stgo.
	Equipamiento básico para dos sedes de la UNG, Santiago y Copiapó.
	Contratación de personal profesional (4) para sedes de Santiago y Copiapó.
	Contratación de personal técnico (4) para sedes Santiago y Copiapó.
	Entrenamiento básico práctico de personal profesional y técnico.
	Selección e inicio trabajos en terreno en un glaciar blanco en región de sede Copiapó.



	<b>ACTIVIDADES</b>
	Selección e inicio trabajos terreno en un glaciar de roca en región de la sede Santiago.
	Controles invernales de manto de nieve desde sedes Copiapó y Santiago.
	Continuación controles glaciar Echaurren (Región Metropolitana)
	Realización de catastro de glaciares en cuencas Copiapó y Limarí.
	Contratación de bibliotecaria para sede central en Santiago.
	Inicio formación biblioteca especializada, toda en formato digital
	Definición e inicio controles nieve y glaciares requeridos por CONAMA
<b>09</b>	<b>Plan de trabajo 2009</b>
	Equipamiento básico para sede Coyhaique.
	Equipamiento avanzado sedes Copiapó y Santiago.
	Contratación de personal profesional (2) y técnico (2) para sede Coyhaique.
	Entrenamiento básico de personal nuevo.
	Continuación trabajos terreno en glaciar blanco de sede Copiapó.
	Continuación trabajos terreno glaciar Echaurren y de roca sede Santiago.
	Selección e inicio trabajos en terreno en un glaciar blanco en región de sede Santiago.
	Selección e inicio trabajos terreno en un glaciar de roca en región de la sede Copiapó.
	Selección e inicio trabajos terreno en dos glaciares blancos de sede Coyhaique.
	Controles invernales de manto de nieve desde sedes Copiapó, Santiago y Coyhaique.
	Realización de catastro de glaciares en cuencas de Choapa y Huasco.
	Avanzar en complementar red estaciones nivo-meteorológicas (dos nuevas).
	Continuación controles en glaciares CONAMA.
	Continuación biblioteca especializada.
<b>10</b>	<b>Plan de trabajo 2010</b>
	Equipamiento básico para sede Iquique.
	Equipamiento avanzado sede Coyhaique.
	Contratación de personal profesional (2) y técnico (2) para sede Iquique.
	Capacitación en extranjero de 2 profesionales.
	Contratación de especialista (en Geología Glacial y variaciones glaciares) en Stgo.
	Contratación de 2 profesionales reemplazantes de aquellos en extranjero.
	Entrenamiento básico de personal nuevo.
	Continuación trabajos en glaciar blanco y de roca sede Copiapó.
	Continuación trabajos en glaciar blanco, Echaurren y de roca sede Santiago.
	Continuación trabajos en glaciares blancos de sede Coyhaique.
	Selección e inicio trabajos terreno en glaciar blanco y de roca en región de Iquique.
	Controles invernales de manto de nieve en todas las sedes habilitadas.
	Inicio estudios sobre generación nuevo glaciar.
	Realización de catastro de glaciares en cuencas de Elqui y Aconcagua.
	Avanzar en complementar red estaciones nivo-meteorológicas (dos nuevas).
	Continuación controles glaciares CONAMA.
	Continuación biblioteca especializada.
<b>11</b>	<b>Plan de trabajo 2011</b>
	Equipamiento básico y avanzado para sedes Puerto Montt y Punta Arenas.
	Contratación personal profesional (4) y técnico (4), para sedes P. Montt y P. Arenas.
	Capacitación en extranjero de 2 profesionales.
	Contratación temporal de 2 profesionales reemplazantes de aquellos en extranjero.



<b>ACTIVIDADES</b>
Entrenamiento básico de personal nuevo.
Continuación trabajos en glaciar blanco y de roca sede Copiapó.
Continuación trabajos en glaciar blanco, Echaurren y de roca sede Santiago.
Continuación trabajos en glaciares blancos de sede Coyhaique.
Selección e inicio trabajos terreno en dos glaciares blanco en región de Puerto Montt.
Selección e inicio trabajos terreno en dos glaciares blanco en región de Punta Arenas.
Continuación estudios y trabajos generación nuevo glaciar.
Controles invernales de manto de nieve en todas las sedes.
Realización de catastro de glaciares en cuencas de Río Salado y toda la II Región.
Avanzar en complementar red estaciones nivo-meteorológicas (dos nuevas).
Continuación controles glaciares CONAMA.
Continuación biblioteca especializada.
Inicio estudios especiales sobre lahares (Vn. Villarrica) y avalanchas (Ruta 60 CH).

Respecto al equipamiento básico y avanzado ver capítulo 4.

El personal de la UNG y sus características y organización se indica en el capítulo 9.2.1.

El contenido de los trabajos en terreno en glaciares y en el manto de nieve ha sido indicado en otros capítulos del presente informe (ver capítulo 3.1).

La ejecución de los catastros de glaciares debe atenerse a las normas de UNESCO (ver capítulo 7 del presente informe).

El monitoreo (con visitas a terreno) de los glaciares que pudieran ser intervenidos por alguna actividad, y solicitados (o requeridos) por CONAMA, corresponderá realizar a la sede dentro de la cual se ubica el glaciar o área objeto de monitoreo.

La formación de una biblioteca especializada debe ser una colaboración y contribución permanente de todos los profesionales y técnicos de la UNG. Adicionalmente, la UNG debe destinar fondos a compras de revistas especializadas (ejemplo Journal of Glaciology de la International Glaciological Society), y a la digitalización de antecedentes de interés. La organización de una biblioteca especializada puede seguir, como ejemplo, el esquema del “World Data Center for Glaciology” del International Council of Scientific Unions, Panel of World Data Centres; existen tres de estos centros en el mundo, el Centro A se ubica en la



Universidad de Colorado, Boulder, Colorado, U.S.A., el B se ubica en Moscú, y el C se localiza en Scott Polar Reserch Institute, Cambridge, Reino Unido

Los estudios especiales, sobre lahares (por ejemplo en el Volcán Villarrica) y avalanchas (por ejemplo ruta Los Andes – Mendoza), pueden comenzar como contratos externos, mientras se forma el personal especialista de la UNG.

En cuanto a la selección de glaciares a monitorear desde cada una de las sedes de la UNG, y considerando criterios de accesibilidad y tamaño de glaciar, se recomiendan los siguientes glaciares para las sedes de Copiapó y Santiago:

a) Desde sede Copiapó:

- i. Como glaciar blanco, uno del área de Tronquitos en la cabecera del Río Manflas, cuenca del Río Copiapó, en la III Región. Probablemente el que aquí llamaremos Tronquito Oeste, centrado en las coordenadas geográficas aproximadas W 69°45' y S 28°32' y ubicado inmediatamente al Oeste del glaciar del cerro Tronquitos (en las coordenadas aproximadas de 28°32' S y 69°43' W). Este glaciar ha sido ya visitado, como una exploración preliminar, por personal de la DGA.
- ii. Como glaciar de roca, uno de los glaciares en la cabecera del Río del Estrecho, en la hoya del Río Huasco, ubicado en las coordenadas geográficas aproximadas S 29°15' y W 70°03'. Este glaciar se ubica al norte del proyecto minero Pascua Lama y existe un camino cercano que se podría habilitar fácilmente hasta el glaciar.

b) Desde sede Santiago:

- i. Como glaciar blanco, uno de los del grupo de glaciares en el sector de Laguna del Barroso, en la cuenca alta del Río Blanco, hoya del Río Aconcagua. Se sugiere el glaciar inmediatamente al Este de la laguna, ubicado en las cotas aproximadas de S 33°07' y W 70°13'. La División Andina de CODELCO-Chile mantiene un camino hasta la Laguna del Barroso, desde donde podría habilitarse una huella hasta el glaciar blanco. La División Andina realiza estudios en los glaciares de roca cercanos a sus faenas mineras, pero no en



glaciares blancos.

- ii. Como glaciar de roca, uno de los del grupo de glaciares de roca en la cuenca del Estero Dolores, afluente del Estero San Francisco, afluente por el Norte del Río Mapocho, en la Región Metropolitana. El más conveniente parece ser el glaciar de roca inmediatamente al Este de la Laguna Dolores, ubicado en las coordenadas geográficas S 33°07' y W 70°18'. Este glaciar se encuentra a la cota media de 3.800 m y existe un camino de acceso hasta la Laguna Dolores ubicada a la cota aproximada de 3.550 m y distante unos 500 m al Oeste del glaciar. El camino de acceso pertenece a la Mina Los Bronces de la empresa Anglo American, la cual normalmente realiza estudios en otros glaciares de roca cercanos a sus faenas mineras.

La selección de glaciares a monitorear desde las otras sedes debe hacerse con una mayor disponibilidad de tiempo para revisar adecuadamente las condiciones.



#### **4. INSTRUMENTAL, EQUIPAMIENTO Y SOFTWARE.**

##### **4.1. ASPECTOS GENERALES.**

Todos los elementos de la infraestructura son de primera prioridad, aunque la cantidad de estos debe ser acorde al crecimiento de las tareas de la UNG. Los trabajos en el ambiente de montaña suelen ser difíciles, por lo que el deterioro de la infraestructura es notable. Por otro lado, gran parte de los equipos son especializados y no se reemplazan fácilmente. Por lo mismo, debe existir suficiente equipo como para suplir pérdidas durante la temporada.

Los refugios suelen no ser accesibles con cargas pesadas durante el invierno. Por esto ellos deben ser completamente reparados y abastecidos durante la temporada de verano.

La red de comunicaciones y transferencia de datos debe instalarse al inicio de las operaciones de la UNG.

##### **4.2. EL EQUIPAMIENTO DE LAS SEDES.**

###### **4.2.1. Las oficinas.**

Proponemos que existan sedes de la UNG en las ciudades de Iquique, Copiapó, Santiago, Puerto Montt, Coyhaique y Punta Arenas, implementándose paulatinamente como se indica en el capítulo 3.1.3.

Cada sede debe contar con, a lo menos, dos oficinas privadas (una para cada profesional), una sala para oficina de los dos técnicos, una sala de reuniones, una sala pequeña de archivo y biblioteca, una sala para equipamiento técnico (con ploters, mesa digital, escáner, etc.), dos baños, una amplia bodega (capaz de contener, entre muchos otros, uno o dos vehículos oruga para nieve), un pequeño taller mecánico para reparaciones y acondicionamiento de equipos. En total del orden de 120 m<sup>2</sup> de espacio oficina, del orden de 20 m<sup>2</sup> de espacio de taller, y aproximadamente 160 m<sup>2</sup> de bodega.



Cada sede debe contar con el siguiente equipamiento mínimo:

- a) Computadores PC (5), uno para cada persona mas otro de respaldo.
- b) Computadores de almacenamiento de datos (solo en sedes de Santiago y Copiapó) y respaldos de toda la información en todas las sedes.
- c) Plotter (1), para impresión de planos.
- d) Mesa digitalizadora (1)
- e) Scanner de alta resolución, con capacidad para diapositivas y negativos.
- f) Impresoras corrientes (2).
- g) Proyector (1) digital y telón para ello.
- h) Estereoscopio de mesa.
- i) Unidades de respaldo de energía a los computadores (baterías, cargadores y reguladores),
- j) Fax.
- k) Red interna de intercomunicación entre todos los computadores y otros equipos (impresoras, plotters, etc.).
- l) Conexión local (terminal) de la red satelital de transferencia de datos y voz desde el terreno (similar y compatible con la actual red de DGA), tales como estaciones meteorológicas automáticas, pluviométricas, nivométricas u otras.
- m) Líneas telefónicas (3) con capacidad de internet.
- n) Dos vehículos todo terreno, 4x4, tipo camioneta.

En cada sede debe existir el siguiente software mínimo, disponible para todos los usuarios:

- a) AutoCAD para manejo de planos,
- b) ERMapper, para manejo de imágenes y georeferenciación y ortorectificación de fotografías aéreas,
- c) ArcGIS y ArcVIEW, para manejo de sistemas de información geográfica,
- d) MapInfo, similar a anterior,
- e) ENVI, para manejo de imágenes satelitales con diversas bandas,
- f) Sistema operativo Windows,





- g) MS Office, y/o STAR de Google (libre de costo) para confección de documentos, planillas y presentaciones,
- h) Corel DRAW y Corel Photopaint, para corrección y manejo de imágenes,
- i) SnowPro, para manejo de datos de nieve
- j) ISIS, o similar para manejo de biblioteca,
- k) Un antivirus eficiente,

#### **4.2.2. Los materiales y equipos para terreno.**

##### **4.2.2.1. Instrumentos.**

Instrumentos se requieren para las observaciones de nieve y hielo, para observaciones meteorológicas, para adquisición de datos topográficos, y otros. Algunos instrumentos, de uso ocasional, se centralizarán en Santiago. Entre otros, el listado de instrumentos incluye:

- a) Estación meteorológica automática portátil (2), para estudios en los glaciares.
- b) Estación nivo-meteorológica (2) en los valles.
- c) Estación fluviométrica (2) y limnógrafo en la descarga de cada glaciar.
- d) Estación total para topografía (2), con prismas triples,
- e) Ablatógrafo (o limnógrafo adaptado), dos,
- f) Barrenos saca-testigo manual para hielo, en 2 diámetros,
- g) Taladro manual (2) para hielo,
- h) Taladro para hielo (2), en base a agua caliente.
- i) Kit para nivometría (incluyendo balanza, tubos con tapa o bien cuñas muestreadores, penetrómetro manual con discos de variados diámetros, termómetros de vástago y punzón, lupa graduada, tableta plastificada para observaciones de cristales de nieve, otros).
- j) Balanza digital (2), con baterías de reemplazo,
- k) Taladro saca-testigo Monte-Rosa (2), para espesor y densidad de nieve,
- l) Ramsonda (2), para resistencia mecánica de la nieve.
- m) Termómetros digitales y data-logger, juegos con diversas longitudes de cables,
- n) Serrucho manual para nieve y hielo (4)



- o) GPS navegador (2),
- p) Relojes con cronómetro (4),
- q) Largavistas (4),
- r) Huincha métrica (tipo carpintero y de tipo enrollable)
- s) Teléfono satelital (2),
- t) Radiotransmisores, Walkie-talkie (6),
- u) Brújula Brunton con inclinómetro (4),
- v) Inclinómetro de bolsillo (4)
- w) Huincha metálica 100 m (4) graduada al milímetro,
- x) Tensor para huincha, de 5 y 10 kg,
- y) Computadores portátil (notebook), tres, con cargadores para 220 V y 12 V, grabadores de disco, y una batería de repuesto cada uno,
- z) Discos grabables para almacenamiento de datos digitales,
- aa) Maquinas fotográficas digitales (4), con memorias adicionales,
- bb) Libretas para terreno, de papel resistente al agua (40 cada año)
- cc) Vehículos mototoboganes para la nieve (2), con trineos, (eventuales, en sedes de Puerto Montt, Coyhaique y Punta Arenas),
- dd) Beepers (6) de seguridad,
- ee) Varillas de sondeo de avalanchas (24).
- ff) Juego (2) de herramientas (martillo, serrucho madera, sierra acero, llaves punta y corona, llaves inglesas, combo, destornilladores punta plana y cruz, alicate, corta lata, etc.) en caja de herramientas,
- gg) 2 cajas de herramientas, de aproximadamente 20 litros de capacidad, con candado y llave, para guardar y proteger los instrumentos,
- hh) 2 caja de herramientas de aproximadamente 40 litros de capacidad, con candado y llave, para el mismo propósito,
- ii) Pié de metro (o calibre), dos,
- jj) Calculadoras de bolsillo (2), con pilas de repuesto,
- kk) Probetas graduadas (2), de 2 litros cada una, de plástico preferentemente,
- ll) Probetas graduadas (2) de 1 litro cada una, de plástico preferentemente,
- mm) Cajas de fósforos (100) de madera (para usar como marcadores en pozos de nieve).



En la medida que el propio personal de la UNG realice levantamientos topográficos será necesario contar con estaciones totales y prismas montados sobre trípode. Sin embargo, es más probable que el levantamiento topográfico se contrate como servicio que incluye el suministro del instrumental.

#### **4.2.2.2. Equipos de montaña y seguridad.**

- a) Eskies y bastones (4) apropiados al tamaño de las personas, con fijaciones para randone,
- b) Bastones de marcha (8),
- c) Crampones (8) apropiados al calce de las personas
- d) Piolets (6),
- e) Cuerdas de escalada (8),
- f) Cuerdas auxiliares, 6 y 8 mm (8),
- g) Arnese de escalada (4),
- h) Diversos aceros de escalada (mosquetones, ochos, clavijas de roca y hielo, nueces, jumars y otros)
- i) Tabla de rescate (2), con inmovilizadores
- j) Carpas (8), con doble techo para lluvias extremas,
- k) Sacos de dormir (6),
- l) Colchones inflables (8),
- m) Cocinillas (4) a gas (anafes), con balones de repuesto,
- n) Lámparas (6) a gas, con balones de repuesto,
- o) Juegos de ollas (4) y servicios, para camping,
- p) Vestuario personal (4) de alta montaña (entre otros: parka y pantalón cortaviento e impermeable, parka y pantalón de abrigo, gorro pasamontaña, guantes de trabajo y de abrigo, lentes para sol y nieve, sweater polar, ropa interior de abrigo, calcetines gruesos, cremas para el sol, polainas impermeables, zapatos de montaña con moldura para fijaciones de ski randone, calzado para refugio, otros),
- q) Relojes con alarma (2),
- r) Elementos de aseo personal (jabones, pasta de dientes, cepillos de dientes,



- afeitadoras, toallas, etc.),
- s) Cortaplumas (6),
  - t) Cascos de escalada (6).

#### **4.2.2.3. Refugios.**

Se ha señalado previamente que es esencial, y como un criterio de selección de glaciar, el poder llegar, o acercarse, al glaciar empleando un vehículo 4 x 4, y el poder contar con un refugio en la margen (o cercano) de cada glaciar que se monitorea (en principio dos en cada sede). Las características de este refugio son, a grandes rasgos:

- a) Refugio tipo container, prefabricado, para 4 personas, con un dormitorio con dos camarotes de dos plazas, una cocina comedor, pieza de ducha y lavamanos, y pequeño espacio de bodegaje. Equipado con cocina y calentador a gas (para balón externo), red de alumbrado eléctrico 220 V, calefacción a gas con tiraje a exterior. Aislamiento adecuado (paredes, piso y techo) para frío extremo, ventanas de doble vidrio (u otra solución, polycarbonatos, que abren en correderas). Con doble puertas que abren hacia interior, y hall de entrada mínimo. Montado sobre “pollos” de roca y/u hormigón. Aprox, 25-30 m<sup>2</sup>. Aislamiento adecuado para precipitación extrema.
- b) Baño químico portátil en carpa (o caseta) en exterior.
- c) Generador de aprox. 1.500 W, a gasolina, en caseta cerrada, en el exterior.
- d) Depósito de agua en interior, para 200 litros (suministro y llenado de estanque de agua con bidones desde captación externa; eventualmente alimentado por tubería HDPP desde captación exterior).
- e) Tambor para acopio de desechos bio-degradables, en exterior.
- f) Tambor para acopio de desechos no-degradables, en exterior.
- g) Container para descarga y tratamiento de residuos de baño químico.
- h) Estanques (2) de 200 l c/u para almacenamiento de gasolina.
- i) Balones de gas (12) de 15 kg c/u.
- j) Útiles de aseo (paños, cloro, jabones, cepillos, virutillas, detergentes, etc).
- k) Bolsas plásticas para basura (100), especialmente resistentes y de tamaño grande
- l) Kit de herramientas.



- m) Gato hidráulico manual, para 5 tons.
- n) Palas punta redonda (2).
- o) Palas punta cuadrada (2), carbonera.
- p) Picota (2).
- q) Chuzo (1).
- r) Escoba (4).

Adicionalmente, al refugio, y luego al glaciar, debe transportarse una variedad de materiales, tales como: para las instalaciones de torres meteorológicas (o postes) con vientos y estacas, materiales para señalar puntos en el glaciar (estacas de maderas, colihues, tubos de aluminio, postes, etc.) estacas de maderas u otros para vértices de cuadriláteros, maderas para marcos en nieve penitente, pinturas, clavos, alambres, cables, banderolas para señalizaciones, huincha reflectante para señalizaciones, etc.

La ubicación exacta del refugio en la margen, o vecindad, de cada glaciar dependerá del trazado del camino de acceso (que en la mayoría de los casos, sino todos, debe aún habilitarse), por donde deberá ser transportado el refugio sobre un remolque tipo “zorra”. El trazado del camino de acceso y la ubicación del refugio es una de las tareas primordiales por realizar en la definición de los glaciares que se estudiarán y controlarán en cada región glaciológica. Para ello es conveniente contar con algunas horas de helicóptero y sobrevolar las alternativas de glaciares.

Dependiendo de la cota de trabajo en el glaciar, puede ser mas conveniente ubicar el refugio a una cota menor (del orden de 2.700 a 3.000 m) y acceder todos los días hasta el margen del glaciar en vehículo. Esto permite un mejor descanso a las personas, sobre todo aquellas no habitadas a trabajos en altura. En todo caso, la distancia entre este refugio y el margen del glaciar no debiera exceder, en tiempo de viaje, los 20 minutos a media hora.

### **4.3. EL EQUIPAMIENTO DE LA OFICINA CENTRAL DE LA UNG EN SANTIAGO.**

La oficina de Santiago de la UNG operará, además de cómo sede de una región glaciológica,



también como central de la UNG.

Por lo anterior, y adicionalmente a los espacios señalados anteriormente para las sedes, la oficina central debe contar con oficinas privadas para el Jefe de la UNG, y más adelante para otros profesionales (hasta cuatro, unos de ello como sub-jefe) ocupados en trabajos glaciológicos específicos (programación de modelos glaciológicos y nivológicos, avalanchas, suelos helados, geología glacial y variaciones glaciares, otros eventuales). Además, debe comprender espacio para una secretaria. Todas estas personas deben contar con PC en red.

En la oficina central se depositará el instrumental de uso ocasional en terreno en las sedes, a las cuales se enviará temporalmente según programas y necesidades. Este instrumental es:

- a) Sonda mecánica para perforaciones profundas en hielo, con obtención de testigos.
- b) Instrumental para determinar espesor de hielo, tal como GPR y gravímetro.

En la oficina central (al igual que en la oficina de Copiapó) también debe existir un computador con capacidad de almacenamiento tal que respalde semanalmente todos los archivos de las sedes; en particular la biblioteca central con acceso desde todas las sedes.

#### **4.4. ESPECIFICACIONES DE INSTRUMENTOS GLACIOLÓGICOS.**

##### **4.4.1. Items de importación.**

El mercado de instrumentos glaciológicos es muy reducido (e inexistente en Chile), de manera que la mayoría de los items son confeccionados por una o algo más de compañías. En lo que sigue se describen instrumentos específicos, que no existen en el mercado chileno y deben importarse. Las cantidades especificadas corresponden a un instrumento, o a un conjunto de instrumentos. La descripción está en inglés, para facilitar su eventual importación. Se indica, cuando es posible, la dirección en la red www. De la empresa, para facilitar su ubicación.

**En: RICKLY HYDROLOGICAL COMPANY**[www.rickly.com](http://www.rickly.com)**MODEL 3600 FEDERAL or MT. ROSE SNOW SAMPLING TUBE**

Part number	Description	Quantity
1004-001	First section tube 0-30" with cutter	1
1004-002	Second section tube 31-60" with 2 couplings	1
1004-003	Third section tube 61-90" with 2 couplings	1
1004-004	Fourth section tube 91-120" with 2 couplings	1
1004-005	Fifth section tube 121-150" with 2 couplings	1
1004-006	Sixth section tube 151-180" with 2 couplings	1
1004-007	Seventh section tube 181-210 with 2 couplings	1
1004-008	Eight section tube 211-240 with 2 couplings	1
1004-014	Federal spare cutter	2
1004-015	McCall cutter	2
1004-016	Spare couplings (a pair)	2
1004-017	Drive wrench	2
1004-018	12.5 foot scale	1
1004-019	20 foot scale	1
1004-020	Cradle	2
1004-021	Spanners in sets of two	2
1004-022	Threads protectors	8
1004-023	Carrying case 8 pockets	1
1004-025	Ski wax for inside tube	5
1004-026	30 foot scale	1
1004-027	Thread cleaning tool	1

**En: MOUNTAIN EQUIPMENT CO-OP**[www.mec.co/Products/](http://www.mec.co/Products/)

Varios Items

Part number	Description	Quantity
-	Sear Metal Snow Crystal Screen	1
-	Life-Link Slopometer	1
-	Weksler Pocket Thermometer with case	1

**En: LIFE-LINK BACKCOUNTRY TRAVEL**[www.life-link.com](http://www.life-link.com)**SNOW PROBE**

Part number	Description	Quantity
-	Carbon Fiber Probe 280	1

**En: SNOWMETRICS**[www.snowmetrics.com](http://www.snowmetrics.com)**RAM PENETROMETER AND SNOW PIT AND SNOW BOARD EQUIPMENT.**

Part number	Description	Quantity
	<b>RAM PENETROMETER</b>	
RAM 1	Standard Ramsonde kit	1
H3	2000 g Hammer	1
E1	Additional 1.00 m Extension	4
B1	Balistic Nylon Case for Standard Ram	1
B3	Metal Case for Standard Ram	1
	<b>SNOW PIT EQUIPMENT</b>	
S1	Digital Scale (4000 g capacity)	1
S2	1 kg x 10 g spring scale	1
S3	300 g x 2 g spring scale	1
C1	Plastic case for S1 digital scale	1
RIP 1	RIP 1 cutter (1000 cc)	3
RIP 2	RIP 2 cutter (250 cc)	3
SL1	Spare lids for RIP 1	3
C2	Nylon case for RIP 1	3
C3	Nylon case for RIP 2	3
FR	2 m fiberglass folding rule	2
TM	3 m metric tape measure	2
P1	Scraper	2
TH	Dial stem thermometer (°C)	5
C5	Aluminum case for dial stem thermometer	5
	<b>SNOW BOARD EQUIPMENT</b>	
S4	Scale for snow board samples	1
T1	12" tube sampler	3
?	18" tube sampler	3
C6	Balistic nylon case for 12" tube sampler	3
?	Balistic nylon case for 18" tube sampler	3
P2	Stainless steel spatula for tube sample	2
M1	Macroscopic 25A 8 x 30	1



**En: PROSPECTORS**[www.earthsciences.com](http://www.earthsciences.com)**MAGNIFIER**

Part number	Description	Quantity
-	10x 1154 scale lupe eschenbach magnifier	1
-	1152/01 eschenbach scale (metric)	1
-	1152/04 eschenbach scale	1

**En: GEOTEST INSTRUMENT CORP.**[www.geotestinst.com](http://www.geotestinst.com)**POCKET PENETROMETER**

Part number	Description	Quantity
E-284	Geotester, dial type pocket penetrometer, range (kgf/cm <sup>2</sup> ) 0 to 6; 0 to 11 kg. With plungers.	1

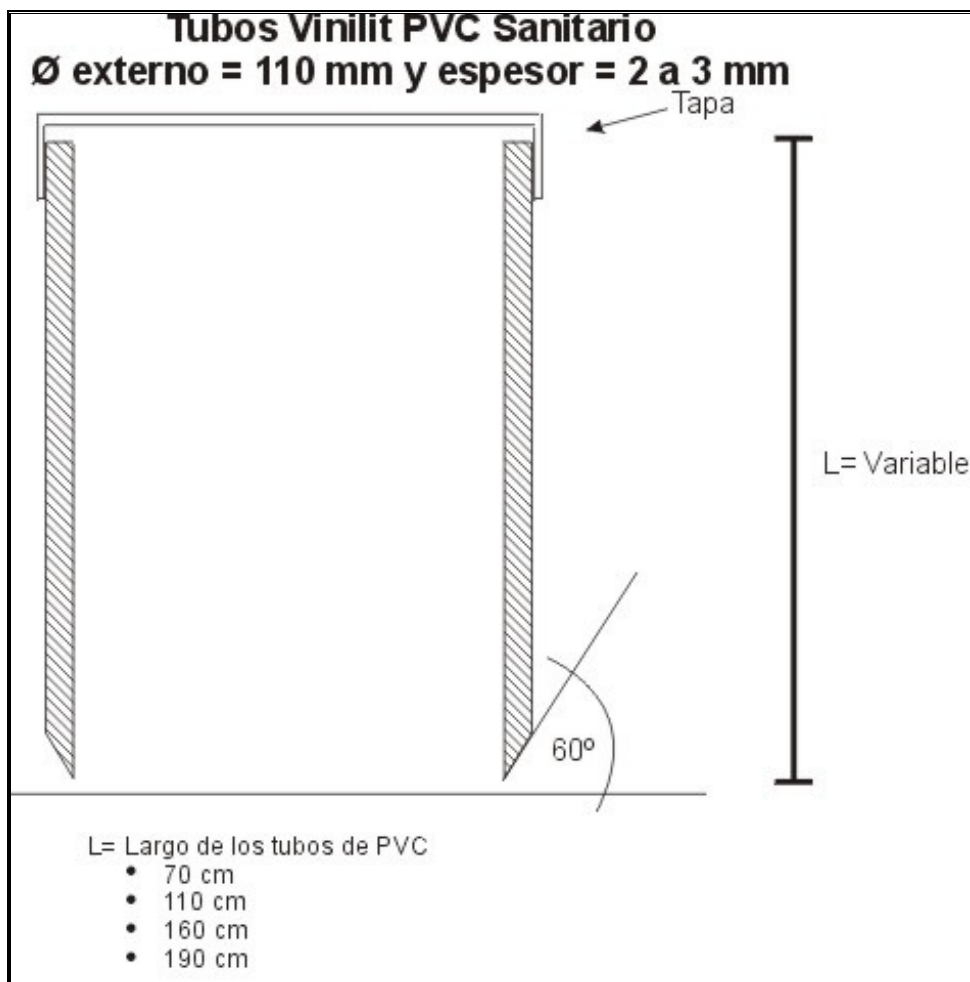
**En: KOVACS ENTERPRISES**[www.icedrillingequipment.com](http://www.icedrillingequipment.com)**ICE DRILLING AND CORING**

Part number	Description	Quantity
-	Ice auger, extyensions to reach 12 m depth, + engine drive	1
-	Mark II coring system, to reach 12 m depth, + core barrel engine	1
-	Mark III coring system, to reach 12 m depth, + core barrel engine	1
-	Hot water drilling equipment, with ¾ inch drill diameter, stainless steel, with kerosene boiler, and hose to reach 12 m depth	1

**4.4.2. Items de construcción o compra en Chile.**

- ❖ Piés (“plungers”) para los penetrómetros. Una vez adquiridos los penetrómetros será necesario fabricar pies de acero inoxidable adicionales (intercambiables), en forma de discos, que se colocan enroscados en el hilo en el extremo del vástago del penetrómetro. Estos pies a construir son discos de 3 mm de espesor, con tuerca al medio, y superficies de 100 cm<sup>2</sup> y 10 cm<sup>2</sup>; dos discos de cada uno.

- ❖ Tubos de acero inoxidable con los cuales obtener muestras de nieve en los pozos. Diámetro externo de los tubos 3" (o similar según disponible en plaza). Espesor de las paredes de los tubos, 1 a 2 mm. Con bisel en uno de los extremos de cada tubo, a 60° según esquema adjunto. Cada tubo con tapa (no roscada) en ambos extremos. El esquema (no a escala, ni de acero) del corte vertical de un tubo es:



La cantidad y longitud (L) de los tubos debe ser de 4 de L = 22 cm cada uno.

- ❖ Aproximadamente 5 metros cuadrados de espuma plástica de 3 cm de espesor, para



acolchar las cajas de herramientas donde se guardarán los instrumentos. Con 1 o 2 tubos (o tarros) de pegamento para adherir la espuma a las paredes de las cajas de herramientas.



## **5. IDENTIFICACIÓN DE INFORMACIÓN Y ANTECEDENTES.**

### **5.1. RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES.**

No existe en Chile una biblioteca especializada en el tema de nieve y glaciares. El formar esta biblioteca es una de las tareas prioritarias de la UNG. Para ello, se debe designar una bibliotecaria dedicada a esta labor a tiempo completo, y que deberá extraer antecedentes (copiar) de diferentes fuentes:

- a) Bibliotecas públicas y privadas que contengan números de revistas especializadas o antecedentes de interés. En particular bibliotecas de universidades e institutos y centros de investigación en ciencias de la tierra y atmosféricas.
- b) Privados que mantienen archivos en el tema de glaciología y/o han realizado trabajos y estudios de nieve y/o glaciares.
- c) Empresas que han recopilado antecedentes de nieve y/o glaciares, o realizado trabajos y estudios al respecto.
- d) Centros de datos meteorológicos, recopilando datos de estaciones en la cordillera y precordillera.
- e) Igual a todo lo anterior, en otros países.

Parece indudable que la formación de esta biblioteca especializada requerirá el establecimiento de convenios de cooperación entre la UNG y todos aquellos que aporten antecedentes. Por otra parte, este archivo debiera ser público, como un gran incentivo a la disciplina glaciológica en el país. Idealmente, toda la información debiera guardarse en un formato digital, ordenarse en una base de datos manejables por sistemas de archivo bibliotecario como el ISIS, y conformar una base de datos ordenada de manera similar a como lo hace el World Data Center for Glaciology, a su vez supervisado por el International Council of Scientific Unions – Panel on World Data Centres.



## **5.2. MAPAS.**

La mejor cartografía oficial disponible son las hojas 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar, que cubre virtualmente todo el territorio nacional, y en algunos sectores con mapas de escala 1:25.000. También son útiles las hojas 1:250.000.

La UNG debiera adquirir todas las hojas 1:50.000 de la cordillera, en un programa de compra acorde con la instauración de sedes de la UNG. Cada sede debiera tener un juego de esas cartas digitales que cubra todo su territorio.

Por razones de seguridad nacional, el IGM suele recortar de sus mapas al público una banda de territorio nacional de amplitud algo variable (algunos kilómetros) desde el límite con países vecinos. La UNG debe hacer un esfuerzo por adquirir los mapas completos.

El área a cubrir con la cartografía que se adquiriera en el IGM debe ser aquella indicada en 7.4, como áreas que se deben revisar al desarrollar un eventual catastro de glaciares.

El CIREN, localizado en Santiago, ofrece planos conformados con imágenes georeferenciadas y ortorectificadas, pero ellas normalmente no cubren áreas montañosas. En todo caso, la institución presta este servicio, al igual que diversas empresas privadas..

Existe en el mercado una serie de empresas capacitadas para elaborar mapas en base a fotografías aéreas adquiridas, u obtenidas por vuelos comerciales de algunas de ellas. Este es un recurso útil cuando no se cuenta con cartografía adecuada.

## **5.3. IMÁGENES.**

Las imágenes que pueden utilizarse en un estudio de glaciares son fotografías de terreno (incluyendo antiguos dibujos), fotografías aéreas, e imágenes satelitales.



Las fotografías de terreno se encuentran en informes, estudios, y en colecciones de privados que han trabajado en montaña. El adquirir esta información y ordenarla es también trabajo de la bibliotecaria de la UNG.

Las fotografías aéreas disponibles se encuentran ofrecidas al público en el Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile ([www.saf.cl/](http://www.saf.cl/)). La información está ordenada en planos donde se ubican los centros de los diferentes juegos de fotografías aéreas, y ello puede ser consultado fácilmente a través del servicio de internet. Lamentablemente hay información en INTERNET que no se puede acceder. Una persona de la UNG debe visitar el Servicio Aerofotogramétrico y seleccionar la información disponible.

De especial interés, puesto que son las fotografías aéreas más antiguas del país y son de extrema utilidad al analizar variaciones glaciares, son aquellas del juego TRIMETROGON, existentes en las bodegas del Instituto Geográfico Militar. Estas fotografías fueron obtenidas por la Fuerza Aérea de Estados Unidos de Norte América en los años 1944-45, y donadas al gobierno de Chile junto con planos de escala 1:250.000. La UNG debe hacer un esfuerzo dedicado por tratar de recuperar estas fotos, muchas de las cuales ya se han extraviado o deteriorado.

En general, las fotografías aéreas son obtenidas en los meses de verano o con la menor cubierta de nieve, cerca de mediodía y con cielo despejado, de manera que suelen ser más útiles en este aspecto que las imágenes satelitales.

Existen diferentes tipos de imágenes satelitales disponibles comercialmente. Las más destacadas son:

- a) LANDSAT TM, de 5 bandas espectrales y resolución de 30 m.
- b) LANSAT ETM+, de 7 bandas espectrales y 1 pancromática, con resolución de 30 m.
- c) SIR-C, radar de imágenes, con resolución de 12 a 25 m por píxel,
- d) ASTER, de cuatro bandas espectrales, esta y todas las imágenes anteriores publicadas y en venta por el U.S. Geologic Survey (ver, por ejemplo, [www.usgs.gov/pubprod/](http://www.usgs.gov/pubprod/)),



- e) IKONOS, producidas por una empresa privada; son imágenes de alta resolución, de 1 a 4 m por píxel (1 en banda pancromática, 4 m en bandas espectrales). Información de estas imágenes se encuentra en [www.satimagingcorp.com/gallery-ikonos.html](http://www.satimagingcorp.com/gallery-ikonos.html).
- f) QUIKBIRD y WORLDVIEW, de manera similar a IKONOS, son imagen producidas por una empresa privada, Digital Globe de Estados Unidos de Norte América ([www.digitalglobe.com](http://www.digitalglobe.com)), con resolución más baja de 50-60 cm, es una alternativa que también obtiene imágenes a pedido de sus clientes.
- g) SPOT y FORMOSAT-2, producidas por Image Spot de Francia ([www.spotimage.fr](http://www.spotimage.fr)). Las imágenes pancromáticas tienen una resolución de 2 m, las multiespectrales son de resolución algo inferior. El satélite FORMOSAT-2 visita diariamente todas las localidades del planeta en su orbita, por lo que puede ofrecer imágenes repetidas incluso diariamente.
- h) GOOGLE EARTH, ofrece al público y libre de costos imágenes de la NASA (que son también las ofrecidas por el USGS) y SPOT en un sistema previamente georeferenciado. Con un pequeño pago adicional se accede a otras prestaciones, como visualización en 3D de las mismas imágenes, y “vuelos” virtuales.

En general, y como las imágenes satelitales se obtienen de manera rutinaria, a menudo exhiben cubiertas nubosas y, otras, mantos de nieve sobre el suelo. Estas últimas son útiles para los estudios de cobertura nival y recursos hidrológicos, pero son poco aplicables al estudio de glaciares. La empresas que manejan satélites comerciales, como IKONOS, QUIKBIRD y FORMOSAT, ofrecen adquirir imágenes de terreno a solicitud de los clientes.



## **6. MÉTODOS DE MEDICION.**

Los métodos de medición de los parámetros que caracterizan a un glaciar pueden ser variados, y suelen ser muy diversos, según las propias características del glaciar en particular, el clima de la región, el tipo y temperatura del glaciar, los recursos humanos y materiales disponibles, el transporte disponible, el entorno geológico e hidrológico, y diversas otras consideraciones. Aún así, se han establecido algunas recomendaciones y estándares internacionales que es conveniente observar en el estudio de glaciares, por sobre todo para poder establecer comparaciones entre glaciares de diversas regiones y extraer tendencias del comportamiento de estos. Estas recomendaciones y estándares internacionales se detallan a continuación.

### **6.1. RECOMENDACIONES Y ESTÁNDARES PARA EL MONITOREO DE GLACIARES SEGÚN GTN-G.**

Estos estándares fueron establecidos por la Global Terrestrial Network for Glaciers . (GTN-G):

- Haerberli, W., Cihlar, J. and Barry, R.G. (2000): Glacier monitoring within the Global Climate Observing System. *Annals of Glaciology*, 31: p. 241–246
- Haerberli, W. (2004): Glaciers and ice caps: historical background and strategies of world-wide monitoring. In: Bamber, J.L., Payne A.J. (eds.): *Mass balance of the cryosphere*. Cambridge University Press, Cambridge: p. 559–578
- Haerberli, W., Hoelzle, M., Paul, F. and Zemp, M. (2007): Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: the European Alps. *Annals of Glaciology*, 46 (119).





## 6.2. FLUCTUACIONES DE GLACIARES Y BALANCE DE MASA.

Recomendaciones para la medición de la fluctuaciones de glaciares (por ejemplo variación del frente) y de balance de masa, son:

- Forel (1895): Instructions pour l'observation des variations des glaciers. Discours préliminaire. Archives des Sciences Physiques et Naturelles, XXXIV, 209-229.
- Gletscherkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (1956): Instruktionen für die Kontrolle der Gletscher in den Schweizeralpen
- Kaser, G., Fountain, A., and Jansson, P. 2002. A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers with particular attention to low latitude characteristics. A contribution from the International Commission on Snow and Ice (ICSI) to the UNESCO HKH-Friend programme. IHP-VI, Technical Documents in Hydrology, No. 59, UNESCO, Paris. 107p. + Appendices
- Østrem, G. and Stanley, A. (1969): Glacier mass balance measurements. A manual for field and office work. Canadian Department of Energy, Mines and Resources, Norwegian Water Resources and Electricity Board. 125 pp
- Østrem, G. and Brugman, M. (1991): Glacier mass-balance measurements: a manual for field and office work, NHRI Science Report.
- UNESCO 1970/73. Combined heat, ice and water balances at selected glacier basins. Part I: A guide for compilation and assemblage of data for glacier mass balance measurements. Part II: Specifications, standards and data exchange. UNESCO/ IAHS Technical Papers in Hydrology 5.



### **6.3. COMPILACIÓN DE DATOS DE FLUCTUACIONES DE GLACIARES.**

Recomendaciones para la compilación de datos de fluctuación de glaciares son:

- General guidelines for the data submission to the World Glacier Monitoring Service.
- Digital data submission form of the World Glacier Monitoring Service for the submission of data on glacier fluctuations.
- Notes on the completion of the data submission form of the World Glacier Monitoring Service.

Estos tres archivos pueden bajarse del sitio web del World Glacier Monitoring Service:

<http://www.wgms.ch/datasub.html>

### **6.4. RECOMENDACIONES UNESCO PARA INVENTARIO DE GLACIARES.**

Estas son recomendaciones para el inventario (o catastro) de glaciares (basados en fotografías aéreas y mapas); ver también capítulo 7 del presente informe. Las referencias básicas son:

- Müller, F., Caflisch, T. and Müller, G. (Eds.). 1977. 222 Instructions for the compilation and assemblage of data for a world glacier inventory. IAHS(ICSU)/UNESCO report, Temporal Technical Secretariat for the World Glacier Inventory (TTS/WGI), ETH Zurich, Switzerland.
- Müller, F. (Ed.). 1978. Instructions for the compilation and assemblage of data for a world glacier inventory; Supplement: Identification/glacier number IAHS(ICSU)/UNEP/UNESCO report, Temporal Technical Secretariat for the World Glacier Inventory (TTS/WGI), ETH Zurich, Switzerland.



- Scherler, K. (Ed.). 1983. Guidelines for preliminary glacier inventories. IAHS(ICSU)/ UNEP/UNESCO report, Temporal Technical Secretariat for the World Glacier Inventory (TTS/WGI), ETH Zurich, Switzerland.

- UNESCO (1970): Perennial ice and snow masses – a guide for compilation and assemblage of data for the World Glacier Inventory. Technical Papers in Hydrology No. 1

### **6.5. INVENTARIO DE GLACIARES SEGÚN INICIATIVA GLIMS.**

Las recomendaciones para la ejecución de inventarios de glaciares según la iniciativa GLIMS (basada en imágenes satelitales), son como sigue:

- Rau, F., Mauz, F., Vogt, S., Khalsa, J.S. and Raup, B. (2005): Illustrated GLIMS glacier classification manual. Glacier classification guidance for the GLIMS Inventory. NSIDC: 36 pp.

- GLIMS Algorithm Working Group. 2006. GLIMS algorithm document

- Raup, B., and Khalsa, J.S. 2006. GLIMS analysis tutorial. Draft, 20060919. 13p.

### **6.6. OTRAS RECOMENDACIONES.**

Basados en los estándares del inventario de glaciares, arriba indicados, se han publicado recomendaciones y requisitos que deben cumplir los monitoreos de la criosfera a partir de componentes satelitales. Estas recomendaciones son:

- GCOS (2006): Systematic observation requirements for satellite- based



products for climate. Supplemental details to the satellite-based component of the “Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC”, Report GCOS-107 (WMO/TD No. 1338), September 2006. 90p

- IGOS (2006): IGOS Cryosphere theme For the Monitoring of our Environment from Space and from Earth. Version 0.9.5.1, November 2006, 118p.

Recomendación particular, referente a glaciares de roca, es que la única tecnología existente a la fecha para estimar el espesor de un glaciar de este tipo es aquella de la técnica geofísica denominada gravimetría. Aún así, y debido al error normal que esta técnica conlleva, es conveniente verificar los espesores realizando uno o más sondajes.



## **7. TERMINOS DE REFERENCIA PARA CATASTRO DE GLACIARES.**

### **7.1. RECOMENDACIÓN DE NORMA.**

Para la ejecución de catastros de glaciares existen actualmente dos procedimientos:

- a) Las recomendaciones de UNESCO para el inventario de glaciares, originadas en la Comisión Internacional de Nieve y Hielo de la Asociación Internacional de Hidrología Científica y,
- b) Las recomendaciones GLIMS, una iniciativa de glaciólogos de varios países buscando el empleo de imágenes satelitales para la confección de inventarios de glaciares.

Las recomendaciones UNESCO tienen como objetivo la ejecución de inventarios de glaciares que se basan en antecedentes de terreno, fotografías aéreas y mapas. Las recomendaciones de la iniciativa GLIMS se han ideado para realizar inventarios de glaciares en base a imágenes satelitales; estas recomendaciones se basan en la norma de UNESCO y solo difieren de ella en cuanto exige la recopilación de menos antecedentes que aquellos solicitados por las recomendaciones UNESCO. Este menor número de antecedentes se refiere a parámetros de las recomendaciones UNESCO que pueden ser difíciles de obtener solo de imágenes satelitales. Por lo mismo, los inventarios con las recomendaciones GLIMS son menos precisos que aquellos realizados con las recomendaciones UNESCO.

El World Glacier Monitoring Service (WGMS) emplea las recomendaciones UNESCO para el catastro de glaciares, además de la mayoría de países en los que se ha realizado el catastro. Por lo demás, éstas son las normas con que se han realizado la mayoría de los catastros de los glaciares en las cuencas hidrológicas de Chile.

Por lo anterior, nuestra sugerencia es que para el catastro de glaciares en Chile se continúe empleando la norma de las recomendaciones UNESCO. En particular porque en Chile se cuenta con una adecuada cobertura de fotografías aéreas y de mapas topográficos. Solo en



regiones donde la obtención de adecuadas fotografías aéreas (de escala apropiada y obtenidas hacia finales de la temporada de verano, con el manto nival en su mínima extensión) se dificulta debido a especiales condiciones climáticas, es aceptable realizar el catastro de glaciares con imágenes satelitales y empleando las recomendaciones de GLIMS.

La cartografía básica existente en el país, y que lo cubre casi íntegramente, es de escala 1:50.000. Si bien lo ideal sería utilizar cartografía de escala 1:10.000, esta no existe (excepto en contados sitios y para proyectos específicos); por ello, recomendamos basar la cartografía en las hojas 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar y utilizar algunos de los juegos (el más reciente) de fotografías aéreas del servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile, las que deben manejarse como pares estereográficos, georeferenciándolas y ortorectificándolas. En algunos sectores específicos del territorio nacional existen coberturas de imágenes satelitales disponibles comercialmente; es conveniente revisarlas pues, cuando son de muy buena resolución permiten mejorar la información de fotografías aéreas. Para el dibujo y manejo de planos, y para la georeferenciación y ortorectificación de fotografías aéreas, deben emplearse los software AUTOCAD y ERMAPPER respectivamente, virtualmente los estándares del mercado en estas materias.

Como resultado de un estudio de catastro de glaciares la DGA debe obtener:

- a) El catastro de glaciares del área analizada, según las normas de UNESCO, en formato digital.
- b) Las imágenes (fotos aéreas y satelitales) empleadas, como copia en papel y en formato digital (.tif o .jpg). Tanto en bruto (en papel y digital) como corregidas con ortorectificación y georeferenciación (en formato digital).
- c) La cartografía 1:50.000 (o mejor si existe), en papel y en formato digital.
- d) El (los) planos que conforman el catastro de glaciares, y que consisten en la cartografía digital más los deslindes de glaciares y otros antecedentes de la norma UNESCO. Estos planos tanto en formato en papel como digital.
- e) Una descripción del trabajo realizado, materiales y equipos utilizados, metodología empleada, limitaciones, resumen de resultados, personal que participó en la confección del catastro, software empleado.



## **7.2. REFERENCIAS PARA LAS RECOMENDACIONES UNESCO.**

Una breve lista de las referencias claves para la ejecución de inventarios de glaciares según las recomendaciones de UNESCO sigue a continuación:

- Müller, F., Caflisch, T. and Müller, G. (Eds.). 1977. Instructions for the compilation and assemblage of data for a world glacier inventory. IAHS(ICSU)/UNESCO report, Temporal Technical Secretariat for the World Glacier Inventory (TTS/WGI), ETH Zurich, Switzerland.
- Müller, F. (Ed.). 1978. Instructions for the compilation and assemblage of data for a world glacier inventory; Supplement: Identification/glacier number IAHS(ICSU)/UNEP/UNESCO report, Temporal Technical Secretariat for the World Glacier Inventory (TTS/WGI), ETH Zurich, Switzerland.
- Scherler, K. (Ed.). 1983. Guidelines for preliminary glacier inventories. IAHS(ICSU)/ UNEP/UNESCO report, Temporal Technical Secretariat for the World Glacier Inventory (TTS/WGI), ETH Zurich, Switzerland.
- UNESCO (1970): Perennial ice and snow masses – a guide for compilation and assemblage of data for the World Glacier Inventory. Technical Papers in Hydrology No. 1
- UNESCO 1970/73. Combined heat, ice and water balances at selected glacier basins. Part I: A guide for compilation and assemblage of data for glacier mass balance measurements. Part II: Specifications, standards and data exchange. UNESCO/ IAHS Technical Papers in Hydrology 5.



### **7.3. EL PROBLEMA DE LOS GLACIARES DE ROCA.**

#### **7.3.1. Aspectos generales.**

##### **7.3.1.1. La clasificación de UNESCO.**

Ni las recomendaciones de UNESCO, ni aquellas de la iniciativa GLIMS, son adecuadas para catastrar apropiadamente a los glaciares de roca y todas las formas de transición entre los glaciares “blancos” y los glaciares de roca, de amplia ocurrencia en la Cordillera de los Andes de Chile central y norte.

En los aspectos más relevantes, la clasificación UNESCO de glaciares lo hace según los siguientes criterios:

1. Clasificación primaria, según el tipo y aspecto general del glaciar.
2. Clasificación según la forma del glaciar.
3. Clasificación según las características del frente del glaciar.
4. Clasificación según el perfil longitudinal del glaciar.

Otras clasificaciones relevantes se refieren a la temperatura del hielo del glaciar y a la forma en que coalescen (o se unen) dos o más lenguas glaciares.

El término “glaciar”, a secas, incluye una amplia gama de tipos y formas glaciares y, comúnmente, suele ser utilizado indiscriminadamente para referirse a glaciares tan diferentes como las enormes masas de hielo de los glaciares en la Antártica y los pequeños glaciares de montaña, o bien tanto para los glaciares blancos como para los glaciares de roca. Esto produce visualizaciones erradas en zonas donde coexisten glaciares de aspectos tan diferentes como los glaciares de superficie blanca y los glaciares de roca. Los trabajos de este consultor en regiones donde coexisten glaciares de roca y otros glaciares de montaña, ha evidenciado la necesidad de introducir una nueva clasificación de glaciares, no existente en la literatura científica al respecto, y basada en el contenido de impurezas presentes en las masas de hielo. Esta clasificación que, esencialmente diferencia entre glaciares “blancos” y





glaciares con diferentes grados de impurezas fue discutida y acordada con el consultor y glaciólogo Dr. Colin Bull durante su estadía en Chile en Noviembre de 2005; sin embargo, su empleo en el presente estudio es de exclusiva responsabilidad de los autores.

Por todo lo anterior, nosotros proponemos agregar una clasificación de glaciares adicional a aquellas de las recomendaciones UNESCO, a realizar según el contenido de impurezas de los glaciares, como se discute y detalla más adelante.

### **7.3.1.2. Clasificación primaria de glaciares.**

Según la clasificación primaria de los glaciares estos se describen y señalan con dígitos, como:

0. Incierto o misceláneo.
1. Sabana de hielo continental. Ejemplos: Antártica y Groenlandia.
2. Campo de hielo. Ejemplo: campos de hielo Patagonico Norte y Patagonico Sur.
3. Casquete de hielo. Ejemplo: casquete en Península Muñoz Gamero, XII Región.
4. Glaciar de desagüe. Ejemplo: glaciar Pio XI que surge del Campo de Hielo Patagonico Sur.
5. Glaciar de valle. Ejemplo: glaciar Juncal Sur, al Este del rajo de Andina.
6. Glaciar de montaña. Ejemplos: los glaciares Barroso, en la cuenca del alto Río Blanco.
7. Glaciarete. Ejemplo: los pequeños glaciares en el proyecto minero Pascua-Lama, III Región.
8. Plataforma de hielo. Ejemplo: en partes de la periferia del continente Antártico.
9. Glaciar de roca. Ejemplo: aquellos en el entorno del rajo Sur-Sur de Andina

En las **sabanas de hielo** los glaciares tienen mayor altura que las cumbres rocosas de la región y las cubren virtualmente totalmente, como en sectores de la Antártica y Groenlandia; en estos casos los glaciares fluyen en todas direcciones desde un centro de elevada cota. En los **campos de hielo** los glaciares inundan una región montañosa, pero no la cubren, y fluyen por las valles y pasos en diversas direcciones. La **plataforma de hielo** consiste de hielo originado sobre una masa terrestre (continental), que se extiende sobre el mar, y flota. El glaciar tipo **casquete** cubre totalmente una alta cumbre o zona, y desde esta fluye en



diversas direcciones. En el resto de los casos, los glaciares se encuentran en una región montañosa, donde dominan las cumbres rocosas, y fluyen en una dirección determinada por la topografía.

### **7.3.1.3. Clasificación según la forma del glaciar.**

Según la forma de los glaciares, estos se clasifican como:

0. Incierto o misceláneo.
1. Cuencas compuestas.
2. Cuenca compuesta.
3. Cuenca simple.
4. Circo.
5. Nicho.
6. Cráter.
7. Falda de hielo.
8. Grupo.
9. Remanente.

Una forma de **cuenca simple** es aquella de un glaciar originado en una cuenca única, no subdividida. Ejemplos de esto podrían ser el caso del glaciar Rinconada Oeste en una cuenca de la cuenca alta del Río Blanco, o el caso del glaciar de roca Infiernillo Sur, en una cuenca de la quebrada San Francisco. Un ejemplo de **cuenca compuesta** es el caso del glaciar Olivares Alfa, que tiene sus nacientes en cuatro sub-cuencas: la subcuenca al Sur de los cerros Negro y Barrentin, la subcuenca al Norte de los cerros La Paloma y Altar, la subcuenca al Este del Cerro Altar, y la sub-cuenca al Oeste del Cerro Fickenscher. No conocemos casos de un glaciar con forma de **cuencas compuestas** en la cordillera del centro de Chile, pero existieron en el pasado geológico: Tales es el caso del glaciar que descendía por el actual valle del Río Blanco, recibiendo aportes de masas glaciares que descendían, entre otros, por los valles de Barroso, del Estero castro y del Potrero Escondido. Un caso similar existió en la cuenca del San Francisco, en las cabecera del Río Mapocho, con un glaciar que recibía aportes de hielo desde las cuencas San Francisco, Dolores y Plomo.



Una forma de **circo** es aquella del glaciar que antiguamente ocupaba el área de la actual Laguna Barroso. Forma de nicho es la de un glaciar pequeño en una depresión del terreno, como podrían ser algunos de los glaciares del sector Cerro Negro o del sector de la Laguna Barroso. Forma de **cráter** es la de un glaciar que ocupa un cráter volcánico, como el glaciar Hudson en la patagonia Chilena. Glaciar con forma de **falda de hielo** es el glaciar en la vertiente Sur del Cerro Dinamarca, en la cuenca del Río Blanco, que fluye en una fuerte pendiente que forma una falda de una montaña. Un típico **grupo** de glaciares lo conforman, por ejemplo, los glaciares del área de la Laguna del Barroso en la V Región. Glaciar remanente es una porción de hielo que ha sido separada de un glaciar mayor; casos de estas formas se observan hoy en día en algunos glaciares de la patagonia.

#### **7.3.1.4. Clasificación según las características del frente del glaciar:**

Los frentes de glaciares se clasifican como:

0. Normal.
1. Pie de monte.
2. Pie expandido.
3. Lobulado.
4. Desprendente.
5. Coalescente, no contribuyente.
6. Tributario activo.
7. Estancado.
8. (dígito sin uso)
9. Morrena con núcleo de hielo

El frente **normal** de un glaciar temperado concluye como una cuña de hielo sobre el terreno, como en el caso del glaciar Juncal Norte. En glaciares fríos suele ser un frente abrupto y, en glaciares de roca, un empinado talud cubierto con detritos rocosos. Frentes de forma de **pie de monte** se observan en algunos de los glaciares que drenan los campos de hielo Patagónico Norte y Sur. Una típica forma de pie expandido es la del frente del glaciar San Quintín, al Sur de la Laguna San Rafael, en la XI Región.



**Lóbulos de hielo** son las formas de algunos frentes de glaciares que se desprenden del casquete de hielo Muñoz Gamero, en la XII Región. Frentes **desprendentes** son aquellos desde los cuales se desprenden masas de hielo y caen al fondo del valle o aun lago proglacial; ejemplo de esto son los glaciares Mesón Alto, en el cerro homónimo en la cordillera del centro de Chile, y el glaciar alto en el Cerro Paine, XII Región. Frentes **coalescentes** lo conforman aquellos de diversos glaciares de roca del sector Río Blanco en la cuenca alta del Río Blanco, cordillera de Chile central. Frente de un **tributario activo** lo conforman masas de hielo que se disponen, por ejemplo de manera yuxtapuesta o superimpuesta (ver Fig. 3.1.2.7-A). Frente **estancado** es aquel que ha permanecido por tiempo histórico en una misma posición. **Morrena con núcleo de hielo** son grandes masas de hielo con cubierta detrítica, abandonadas por delante de un frente glaciar; casos de este tipo se encuentran ocasionalmente en el frente de sábanas de hielo, en particular en la Antártica.

#### **7.3.1.5. Clasificación según el perfil longitudinal del glaciar.**

Según sus perfiles longitudinales, los glaciares se clasifican como:

0. Incierto o misceláneo.
1. Uniforme, o regular.
2. Colgante.
3. En cascada.
4. Caída de hielo.
5. Interrumpido o regenerado.
6. Ladera cubierta con neviza.
7. (dígito si uso).
8. (dígito sin uso).
9. Rampa de pro-talus.

Un perfil longitudinal **regular** es un perfil uniformemente inclinado, con tan solo variaciones en el frente y en la cabecera del glaciar. Un glaciar **colgante** es aquel cuyo frente termina en un abrupto farellón rocoso, como un frente virtualmente vertical y del cual se desprenden ocasionalmente masas de hielo. Un glaciar en **cascada** es aquel en cuyo perfil longitudinal



se observan varios escalones, que obedecen a cambios en el relieve subglacial. Una **caída de hielo** es un sector o frente glaciar de fuerte pendiente, y extenso fracturamiento, dentro del cual hay desprendimientos de masas de hielos y, en general, de aspecto caótico. Un glaciar **regenerado** es aquel existente en la base de un farellon rocoso o de una fuerte pendiente rocosa, formado por acumulaciones de hielo desprendidas de un frente glaciar ubicado a mayor cota.

Una **ladera cubierta de neviza** es un glaciar pequeño, formado esencialmente por neviza (nieve de más de una temporada de edad), que cubre un nicho en una ladera, con un perfil relativamente uniforme. **Rampa de pro-talus** es un pequeño glaciar similar al anterior, pero al pié de un talus detrítico, y de perfil levemente cóncavo.

#### **7.3.1.6. Clasificación según la temperatura de la masa de hielo.**

Para este tipo de clasificación de un glaciar la temperatura que importa, es aquella que se encuentra en el núcleo del glaciar por debajo del nivel de variación estacional de la temperatura, vale decir, por debajo del nivel de penetración de la onda de frío invernal, y por sobre el efecto del calor geotérmico y del calor aportado por la fricción en la base del glaciar. El punto de fusión del hielo varía solo muy levemente con la presión, de manera que en los glaciares se encuentran temperaturas de esencialmente 0°C (glaciares temperados), o bien temperaturas inferiores a 0°C (desde pocos grados a decenas de grados bajo cero) y que conforman los glaciares fríos.

En regiones donde las temperaturas medias mensuales veraniegas alcanzan por sobre 0°C, el hielo del núcleo de los glaciares se encuentra a 0° C y a estos glaciares se les denomina temperados; éste es el caso de la mayoría de los glaciares de montaña en la cordillera de Chile, excepto en zonas de cotas muy altas y de temperaturas permanentemente bajo 0° C. En regiones donde la temperatura media mensual de verano es de varios grados bajo 0° C, el hielo glaciar se encuentra también bajo 0° C y los glaciares se denominan fríos. La temperatura del hielo no es la media del aire, pues depende de los procesos de recongelamiento del agua de fusión en el glaciar. En la cordillera de Santiago se ha medido 0°C en el núcleo de glaciares a aprox. 4.400 m.s.n.m., y se ha observado la presencia de



agua en grietas a cotas cercanas a 5.000 m.s.n.m.

Los glaciares fríos no aportan agua por fusión del hielo en la base del glaciar (no se produce fusión basal) y solo escasa agua por fusión en superficie (porque principalmente subliman). Algunos glaciares muy tenues, ubicados en las cotas más altas de la cordillera, pueden ser completamente fríos sólo en invierno y temperados en verano.

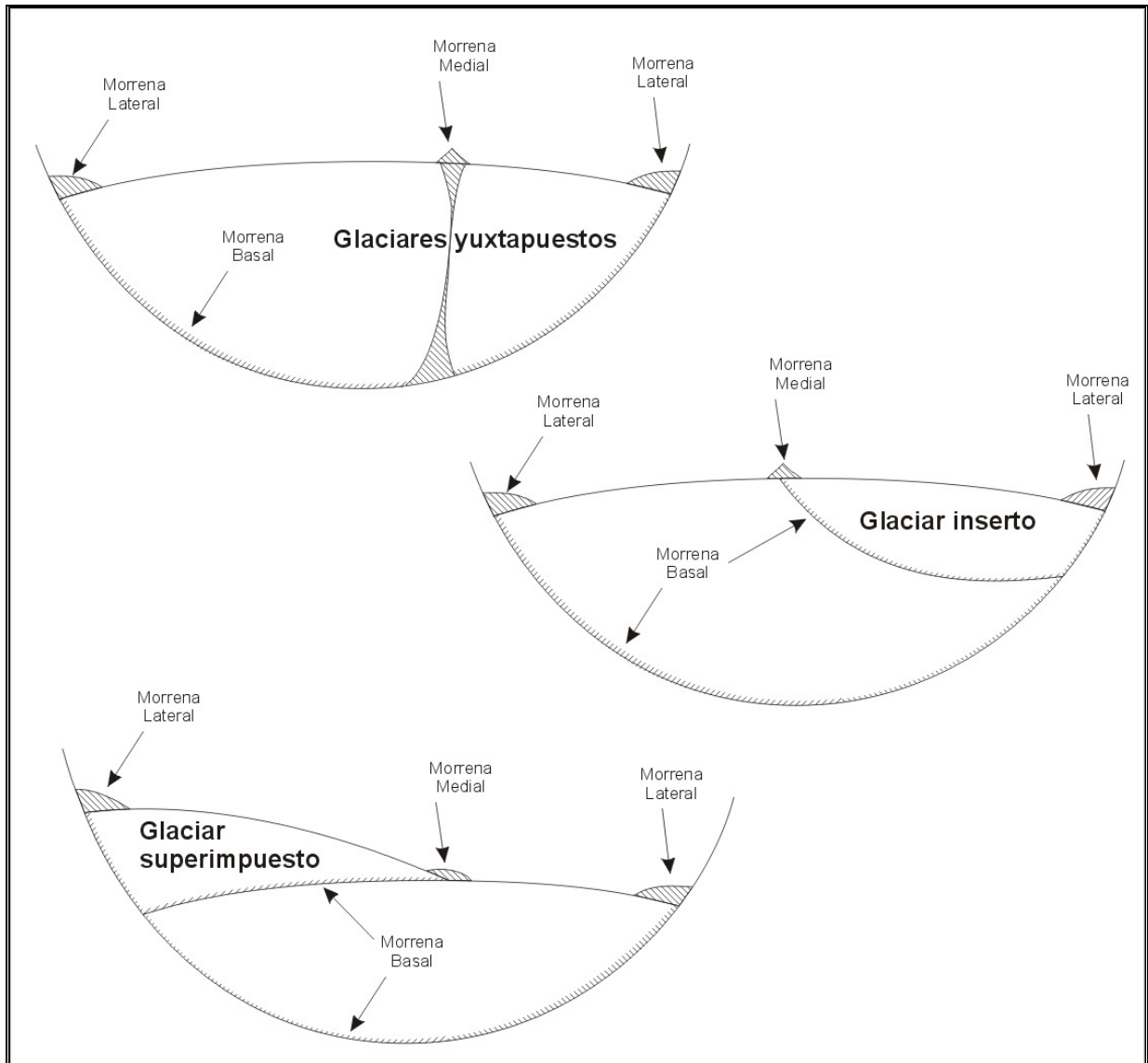
Los glaciares fríos se constituyen porque el escaso calor de verano no logra disipar la onda de frío invernal que se mete en profundidad en la masa de hielo, aunque puede lograr temperizar a 0° C un espesor poco profundo (centímetros o metros) de la parte más superficial de la masa de hielo que normalmente es fría. En los glaciares temperados simplemente no existe suficiente frío para bajar la temperatura de toda la masa de hielo por debajo de 0° C, pero tampoco existe suficiente calor para fundir todo el hielo. Los glaciares fríos no producen agua (evaporan y/o subliman principalmente), o producen muy poca (la fusión superficial es escasa y solo en algunos días en verano). Los glaciares fríos incluso en la base, están adheridos (“pegados”) a la base rocosa o detrítica, y su deslizamiento es virtualmente nulo (se desplazan solo por deformación del hielo), mientras que el movimiento de los glaciares temperados es debido a la deformación del hielo y también a un deslizamiento sobre su lecho.

En los glaciares temperados, con el núcleo de hielo a 0°C, no hay frío suficiente (ni en verano ni en invierno) como para congelar el agua de fusión del hielo; en el verano se observa, comúnmente, agua en grietas del glaciar y en lagunas en el glaciar, el agua de fusión en superficie se infiltra hasta la base y escurre, dando origen a esteros o ríos que emergen del frente del glaciar. Los glaciares temperados deslizan en la base; más rápido en verano por mayor presencia de agua. Por todo esto, los glaciares temperados actúan como reguladores de los caudales en la cuenca, aportando recursos en años o estaciones secas; los glaciares temperados entregan agua todo el año (por la fusión en la base en invierno), y mucho mas en verano que en invierno.

**7.3.1.7. Clasificación según la forma en que se unen dos o más lenguas glaciares.**

Según la forma en que se unen dos lenguas glaciares (ver Fig. 7.3.1.7-A), éstos se clasifican como:

- ❖ **Yuxtapuestos**, uno al lado del otro en un valle glaciar, lo cual genera una banda oscura longitudinal de material detrítico proveniente de las márgenes de ambos glaciares que se unen (se las denomina morrena medial, un término poco feliz porque confunde al material que es esencialmente hielo, con las morrenas propiamente tales que es un material detrítico sin hielo).
- ❖ **Superimpuesto**, la lengua de un glaciar cabalga sobre la lengua de otro,
- ❖ **Inserto**, una lengua glaciar se inserta en la superficie de otra lengua glaciar.



**Fig. 7.3.1.7-A. Clasificación del tipo de unión de dos lenguas glaciares. Esquema en sección vertical transversal a los glaciares.**

### **7.3.2. Las impurezas en los glaciares.**

Todas las masas de hielo de los glaciares contienen impurezas, principalmente partículas o fragmentos detríticos, desprendidos desde las laderas rocosas sobre el glaciar, por simple





meteorización, arrastradas por avalanchas de nieve, llevadas por el viento, o erosionadas en las márgenes del glaciar y atrapadas por el hielo, y aquellas de los núcleos de condensación de los cristales de nieve originales. Adicionalmente, en las zonas de ablación se encuentran partículas arrastradas a la superficie a lo largo de planos de cizalle de las masas de hielo en compresión. Las partículas y fragmentos que se depositan en la Zona de Acumulación se mezclan con la masa de nieve invernal, son cubiertas por nuevos mantos de nieve, y pasan a constituir parte de la masa del glaciar como partículas atrapadas en el hielo. En la medida que el glaciar avanza, lleva los estratos de hielo con sus partículas constituyentes a cotas inferiores, donde el hielo se funde en la Zona de Ablación y las partículas que envuelve son abandonadas en la superficie del glaciar. Si las partículas y fragmentos son muchos, comienzan a formar un manto detrítico que es cada vez más potente en la medida que mayor cantidad de hielo con impurezas se funde.

Cuando las impurezas son escasas, sólo algunas pocas afloran en la superficie del manto de nieve invernal que subsiste en la Zona de Alimentación del glaciar al fin del verano, de manera que la superficie de nieve en esta zona mantiene su color blanco prístino o levemente grisáceo. Las impurezas comienzan a aflorar y permanecen en la superficie del glaciar en la zona de Ablación, pero cuando son muy escasas no modifican significativamente el aspecto blanco del hielo en la superficie del glaciar, excepto en las morrenas marginales (laterales y frontales) y mediales cuando estas existen.

Cuando las impurezas son más abundantes en el hielo del glaciar, el aspecto de la neviza (nieve vieja) en la zona de Alimentación (Acumulación) al final del verano puede ser menos prístino (de color grisáceo) por la presencia de numerosas partículas detríticas que han sido dejadas en superficie por la fusión de parte del manto de nieve que las contenía. En la Zona de Ablación de estos glaciares el aspecto de la superficie es definitivamente de color grisáceo y puede llegar a gris oscuro (incluso conformar una tenue cubierta detrítica) en el frente del glaciar donde la fusión del hielo acumula partículas depositadas durante muchos años en las capas de hielo. El tenue material detrítico expuesto en superficie absorbe radiación solar y calor y ayuda a la fusión de la nieve o el hielo infrayacente.

Cuando las impurezas en los depósitos de nieve en la zona de Acumulación son altas (del



orden de 2 % o más del volumen de nieve acumulada durante el invierno), la fusión de parte del manto de nieve invernal durante el verano deja expuesta una cantidad tal de material detrítico que este forma una cubierta aislante que protege efectivamente de la destrucción a la nieve subyacente remanente (ver Figs. 7.3.2-A y B). La cubierta detrítica es muy porosa y permeable, constituida principalmente por fragmentos gruesos (del tamaño gravas y gravillas) y angulosos, lo cual la hace una mala conductora del calor. Los espesores mínimos de la cubierta de material detrítico necesarios para constituir una carpeta protectora, que efectivamente reduzca la fusión del hielo o nieve infrayacentes, son del orden de 25 cm; con el transcurso del tiempo, y en la medida que el hielo infrayacente se funde lentamente por el escaso calor transmitido a través de la cubierta detrítica, esta aumenta su espesor, en consecuencia aumenta su efecto protector, y permite una mayor persistencia del hielo infrayacente.

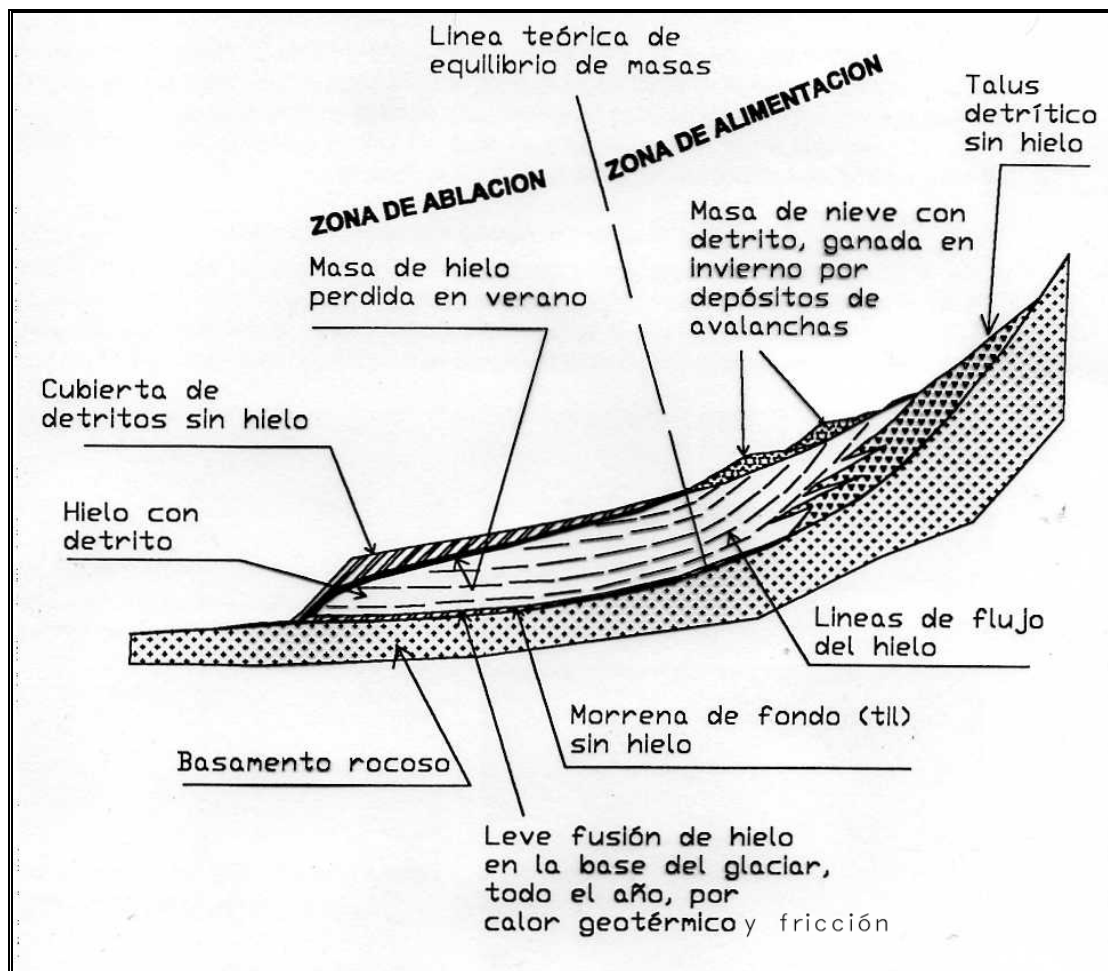
A modo de ejemplo, una acumulación de nieve de 10 m de espesor con 2% en volumen de detrito, si se funde totalmente deja un espesor de 20 cm de material detrítico. Otro ejemplo, 10 m de espesor de nieve con 3 % de detritos al fundirse deja 30 cm de espesor de cobertura detrítica. Un depósito de avalancha de 15 m de espesor (espesor común en grandes avalanchas) con 2 % de detritos, produce al fin de verano una cubierta de detrito de 25 cm de espesor (fundándose 12,5 m de espesor de nieve) que protege un manto de nieve subyacente de 2,5 m de espesor.

Existen muy diferentes definiciones de glaciares de roca en el mundo, desde aquellas que los consideran acumulaciones detrítica en las cuales se ha infiltrado agua y congelado como una matriz de hielo (en realidad un suelo helado, o “permafrost”), otras que los consideran remanentes de glaciares en extinción y, entre otras, también, aquellas que los consideran formas particulares de glaciares.

El término Rock Glaciers fue introducido por Capps (1910) y se utiliza en USA, Canada, etc. y por la gran mayoría de los autores desde entonces. Para el American Geological Institute, un Glaciar de Roca en pendientes muy inclinadas se puede llamar Talus Glacier. El término Coulees de Blocs fue propuesto en Suiza (Chaix 1923) como equivalente a Rock Glaciers; este término ha sido poco aceptado.



**Fig.7.3.2-A. Explorando con taladro para hielo el borde de una grieta de tensión en un glaciar de roca en los Andes del centro de Chile. Hielo azul en el punto de inserción del taladro, cubierta tenue de detritos sobre el hielo.**



**Fig.7.3.2-B. Perfil esquemático por el eje de un glaciar de roca.**

En 1941, Kesseli propuso designar Rock Streams a los glaciares de roca; su proposición no prosperó mayormente. En Francia se usa el término Glacier Rocheux (Cailleux y Taylor, 1954, y numerosos otros autores). Lliboutry (1953, 1955, 1956 y 1961) distinguió entre Glacier d' Evoulis con materiales finos y Glacier Rocheux con materiales gruesos; esta distinción no se emplea por ser poco práctica. En español, Catalano (1923) propuso el término Litoglaciares; virtualmente no se emplea.

En Alemania, se han propuesto los términos Blockgletscher (Troll 1944, Czajka 1955), Erdgletscher (Quiring 1928, Hovermann 1972) y Blockströmen o ríos de piedras (Grötzbach,



1965). En Italia se utiliza el término Pietrai Semoventi (Capello 1947, 1960 y 1963). En España, Catalano (1923) propuso el término Litoglaciares; virtualmente no se emplea.

En Argentina, Corte (1974, 1977) propuso el término Glaciar de Escombros, utilizado ocasionalmente en ese país. El mismo Corte señaló como sinónimos los términos Glaciar de Detritos, Glaciar de Bloques, Glaciar de Rocas, Glaciar de Piedras, y Litoglaciares.

Todas estas definiciones fueron realizadas sin una exploración en profundidad, sin saber como se presentaba la masa de hielo, sin más mediciones que ocasionales observaciones de desplazamiento en la superficie de algunos glaciares, y solamente observando rasgos en la superficie de los glaciares.

Tan solo con las intervenciones en los glaciares de roca realizadas en Chile como consecuencia de la minería en la alta montaña desde la década de los ´80, en particular en la División Andina de CODELCO pero también (aunque en menor grado) en otras faenas mineras, se ha tenido, por primera vez en el mundo, una visión integral de estas masas de hielo. Lo que esta experiencia muestra, con los diversos estudios realizados en los glaciares de roca, es que se trata de glaciares propiamente tales, que se diferencian de otros glaciares solamente en que poseen un mayor contenido de impurezas, lo cual produce una cubierta detrítica que los cubre de manera protectora, totalmente o en gran parte.

Así, los glaciares de roca son, por definición, glaciares cubiertos en la totalidad de su zona de Ablación, y la totalidad o gran parte de su zona de Acumulación, por material detrítico en espesor suficiente para proteger parte de la acumulación de nieve infrayacente (ver esquema en Fig. 7.3.2-B y Fig. C).

Por otra parte, en los glaciares blancos acumulaciones de detritos en superficie se manifiestan solamente en la zona de Ablación y pueden ir desde inexistente (glaciares blancos propiamente tales) hasta una cubierta de espesor protector cerca del frente (glaciares grises), las zonas de acumulación de estos glaciares no muestra acumulación de detritos suficiente para formar constituir una protección, o simplemente no muestra ninguna presencia significativa de detritos.



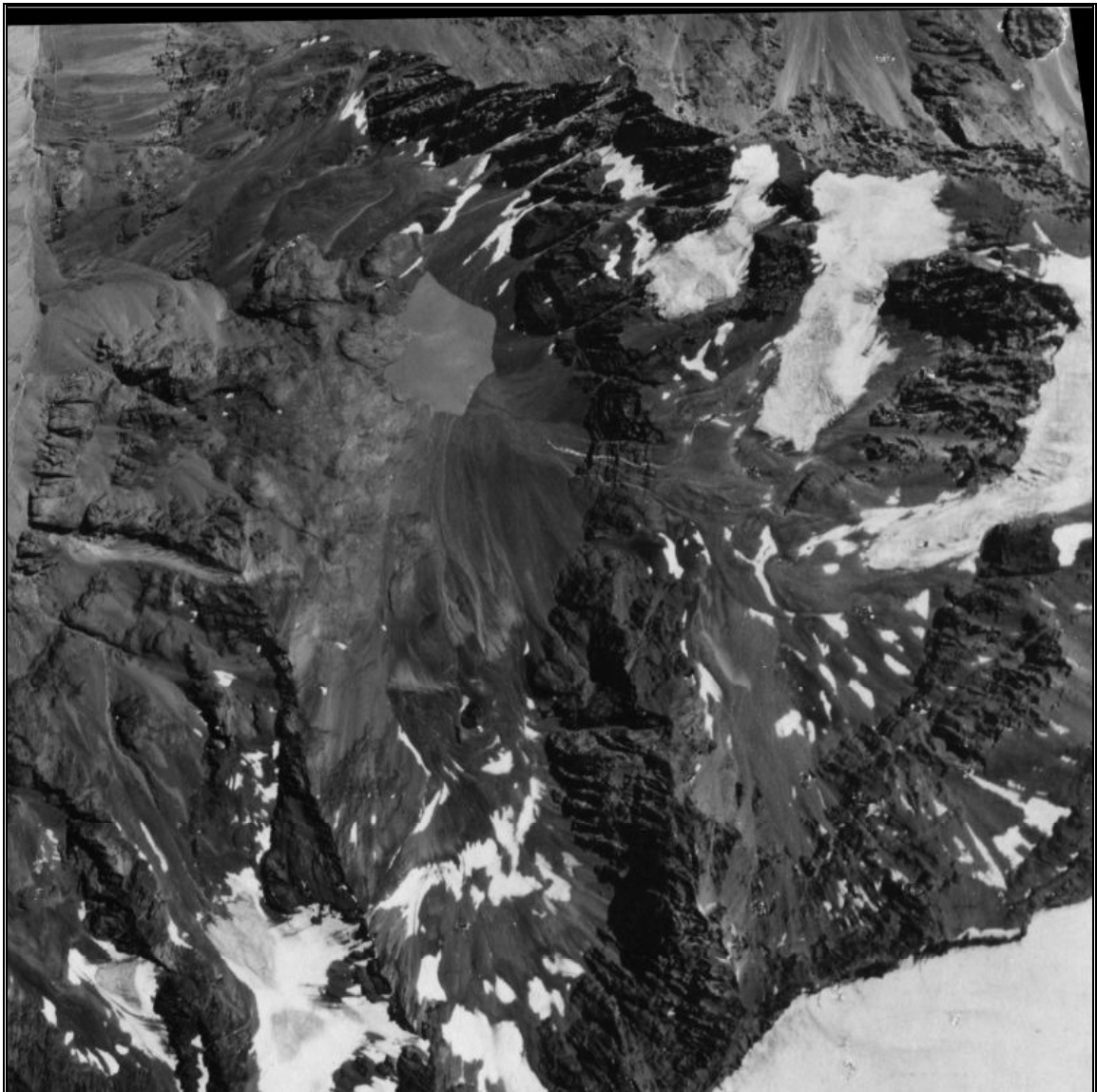
**Fig. 7.3.2-C. Fotografía aérea con glaciares de roca en la cuenca del Río Blanco, V Región. Proyectos mineros ocupan actualmente parte del sector.**



Considerando todo lo anterior, el requisito básico para la formación de glaciares de roca es que exista una acumulación muy alta de nieve con un contenido significativo de detritos. Esto ocurre normalmente en los depósitos de nieve de avalanchas donde el contenido de detritos suele ser del orden de 1 o 2 % en volumen, y en las acumulaciones de nieve al pie de farellones de roca de pobre calidad geotécnica y donde se producen continuamente pequeños desprendimientos de partículas que ruedan por el manto de nieve muy inclinada hasta pendientes más estables, donde forman concentraciones que pueden llegar al 3 % o 4 % del espesor total del manto de nieve. Por lo mismo, es virtualmente imposible que la precipitación nival por sí sola logre conformar glaciares de roca; estos se originan y encuentran donde la configuración del terreno permite la depositación de avalanchas, o bien al pie de grandes farellones de roca de pobre calidad geotécnica con importantes acumulaciones de nieve en la base. También es razonable suponer, de acuerdo con lo anterior, que normalmente los glaciares de roca subsisten durante varios años con balances de masas negativos, los cuales se compensan con un fuerte balance positivo que ocurre una vez cada varios años.

### **7.3.3. Proposición de clasificación de glaciares según contenido (o grado) de impurezas.**

Por todo lo señalado anteriormente, es evidente que existe toda una gama de características glaciares relacionadas con el grado de impurezas presentes en las masas de hielo, desde los glaciares esencialmente blancos (ver Fig. 7.3.3-A), sin concentración de detritos en toda su superficie, hasta los glaciares de roca con una virtualmente total cubierta de detritos. También existen glaciares blancos que, debido a variaciones en sus balances de masas hacia términos cada vez más negativos, se encuentran en un proceso de transición desde ser (o haber sido) glaciares blancos, o casi blancos, a glaciares de roca, mediante la formación de una cubierta detrítica en la superficie del glaciar que es cada año más extensa.



**Fig. 7.3.3-A. Glaciares blancos (Barroso 4 a 7) en el sector de Laguna Barroso, V Región; en la mitad derecha superior de la fotografía aérea.**

Considerando todo lo anterior, proponemos aquí una clasificación de glaciares basada en sus contenidos de impurezas, como sigue:

0. Incierto o misceláneo.
1. Glaciar blanco, sin impurezas visibles en su superficie.
2. Glaciar con morrenas en superficie; es un glaciar blanco en el cual las impurezas





- forman morrenas marginales y mediales que quedan expuestas en la Zona de Ablación.
3. Glaciar gris; es un glaciar con o sin morrenas en superficie, pero en cuya Zona de Ablación ocurre de manera visible la presencia de detritos en superficie, desde levemente perceptibles hasta una cubierta de detritos claramente distinguible, continua o bandeada, y que es más potente en espesor de detritos hacia el frente del glaciar.
  4. Glaciar en transición; cualquiera de los anteriores que se está transformando a un glaciar de roca. Características distintivas son: (i) una cubierta de detritos que se extiende sobre la casi totalidad de la Zona de Ablación, y (ii) la ocurrencia de pequeñas extensiones de cubierta de detritos, como parches, dentro de la Zona de Acumulación.
  5. (dígito sin uso).
  6. (dígito sin uso).
  7. (dígito sin uso).
  8. (dígito sin uso).
  9. Glaciar de roca, con un cubierta de detritos que se extiende en toda la Zona de Ablación y en la totalidad, o más del 90% de la Zona de Acumulación.

Se debería hacer una discusión nacional e internacional (en el glims me parece que hay una leve clasificación de acuerdo a % de área cubierta por detritos

#### **7.3.4. Otras características de los glaciares de roca.**

Las velocidades de movimiento en los glaciares de roca son inferiores a las velocidades en glaciares blancos de similar magnitud y pendiente. Esto esencialmente debido a que: (i) parte del espesor del glaciar es material detrítico que no interviene en la deformación aunque sí aporta mayor carga, y (ii) espesores reducidos de hielo protegido por detritos logran subsistir por muchos años, pero con tasas de deformación interna muy bajas.

Una característica distintiva de los glaciares de roca es la ocurrencia, en la Zona de Ablación



(o de compresión) de cordones arqueados hacia el frente. Estos cordones revelan el afloramiento en superficie de planos de fracturas en cizalle (ver esquema en planta y perfil en las Figs. 1.2.1.1-F y G, en capítulo 1.2) , con una acumulación adicional de material detrítico. Formas de cordones (ver Fig. 7.3.2-B y esquema de Fig. 1.2.1.1-G), pero muy tenues, se observan en los glaciares en transición (existen también en los glaciares “blancos”) pero la alta tasa de fusión del hielo no permite su subsistencia, o expresión, destacada y la mayor presencia de detritos (siempre tenues) acelera la fusión del hielo, en lugar de protegerlo como ocurre en los glaciares de roca.

En los glaciares de roca, los sistemas de fractura en la superficie del glaciar, destacados en otros tipos de glaciares, suelen estar ocultos por el detrito en la superficie del glaciar y que cae en las fracturas en el hielo, rellenándolas. Debido a la forma en que se alimentan los glaciares de roca, y la presencia de la cubierta de detritos protectora del hielo infrayacente, las zonas de acumulación suelen ser pequeñas en relación con las zonas de ablación.

#### **7.4. AREAS A REVISAR EN UN CATASTRO DE GLACIARES.**

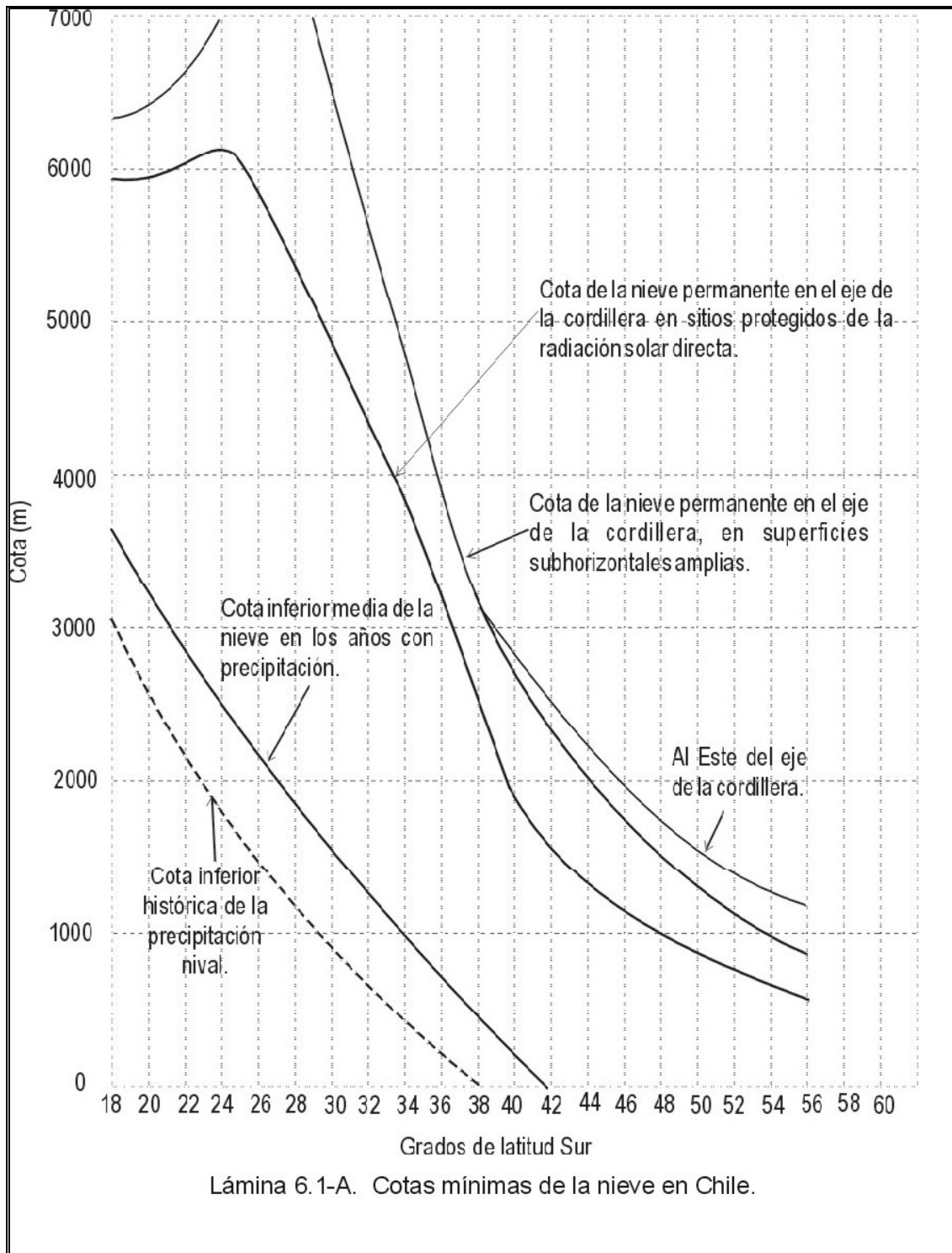
La cota a que se encuentran los glaciares varía enormemente a lo largo del país debido a la variedad de climas, y también por el hecho de encontrarse glaciares de roca que, debido a su coraza de detritos rocosos protectora, se desarrollan a menor cota que los glaciares blancos. Recomendaciones respecto a las áreas a revisar se incluyen a continuación, válidas para todo tipo de glaciares, vale decir, incluyendo a glaciares de roca.

En la Fig. 7.4-A se muestra un esquema de cotas de distribución de la nieve según las latitudes. Al Norte de la latitud de 42°S se propone definir las áreas a revisar para un catastro de glaciares como aquellas que se ubican por sobre una línea imaginaria de la Fig 7.4-A que se dispone simétricamente entre aquella de la cota inferior media de la nieve en los años con precipitación, y aquella por debajo de la cota de la línea permanente en el eje de la cordillera en sitios protegidos de la radiación solar directa.



Al Sur de la latitud de 42°S se propone definir las áreas a revisar para un catastro de glaciares como aquellas que se encuentran por sobre una línea que va desde la cota de 800 m a la latitud de 42°S, a la cota de 300 m a la latitud de 56°S.

Desde luego, la definición de áreas por revisar arriba señalada implica que si bien las lenguas terminales de algunos grandes glaciares puede extenderse hasta por debajo de esa cota mínima (y esas lenguas deben igualmente incluirse en el catastro), ellas comprenderán todas las zonas de acumulación de los glaciares y, por lo mismo, todos los glaciares presentes en el área a catastrar.

**Fig. 7.4-A. Cotas mínimas de la nieve en Chile.**



## 7.5. ESPESOR MEDIO Y DENSIDAD DE GLACIARES.

Desafortunadamente, existen muy pocos datos de espesor de glaciares en los Andes de Chile central como para derivar, a partir de estos datos, relaciones certeras entre la superficie cubierta por los glaciares y los espesores medios. Algunas relaciones de este tipo se muestran en la Tabla 7.5-A.

Ninguna de las relaciones área-espesor medio de glaciares de la Tabla 7.5-A representa adecuadamente los espesores medios de los glaciares comprobados con sondajes y estudios gravimétricos en glaciares estudiados. La razón de esto parece estar en el hecho que las relaciones de la tabla han sido obtenidas principalmente del análisis de glaciares bastante mayores en cuanto sus superficies que los glaciares de montaña comunes en la Cordillera de los Andes.

**Tabla 7.5-A. Relaciones entre área y espesor de glaciares.**

<b>Ubicación y autores</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Espesor medio (m)</b>
Noruega, Ostrem y Ziegler, 1969	< 1	25
	1 – 5	50
	5 – 20	125
	> 20	200
Artico Canadiense, Ommaney, 1969	0 – 1	15
	1 – 2	20
	2 – 5	35
	5 - 20	50
	> 20	> 50
Montañas North Cascades, Washington, USA Post y otros, 1971	0 – 0,5	20
	0.5 - 1	40
	1 – 2	65
	2 – 5	90
	5 – 10	120
Alpes Suizos, Muller y otros, 1976	< 0.5	5
	0,5 – 23	$5,2 + 15,4 \times \text{Area}^{0,5}$
	> 23	Apreciación



<b>Ubicación y autores</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Espesor medio (m)</b>
Hoya del Río Maipo, Chile, Marangunic, 1979	< 0.10	5
	0,11 – 0,50	20
	0,51 – 1,00	40
	1,01 – 2,00	65
	2,01 – 5,00	90
	5,01 – 10,00	120
	10,01 – 20,00	155
	> 20,01	200

Para futuros inventarios de glaciares recomendamos estimar los espesores medios de los glaciares con la siguiente relación, que resulta de emplear los datos de extensión de la superficie de glaciares de los Andes del centro de Chile cuyos espesores han sido determinados mediante sondajes y/o estudios geofísicos, obteniendo la siguiente mejor correlación, que resulta con ajuste exponencial, entre la superficie de un glaciar y su espesor medio:

$$Y = A \times X^B$$

donde X es el área del glaciar e Y es el espesor medio, la constante A = 0,00944 y la constante B = 0,65185; para glaciares de superficie mayor que 5 km<sup>2</sup> el valor de las constantes es 0,08962 y 0,45257 respectivamente.

En todo caso, la relación anterior de superficie y espesor medio de los glaciares debe revisarse en la medida que se obtienen mayores y mejores antecedentes.

Con respecto a las densidades de los materiales de los glaciares, el hielo de estos es poroso (probablemente del orden de 1% de poros) y permeable. Así, para el caso de glaciares blancos el valor apropiado es de 891 kg/m<sup>3</sup>. En la neviza de la Zona de Acumulación la densidad es más baja que esta cifra. Pero el contenido de detritos en la morrena de fondo, la parte inferior del glaciar, compensa el menor valor de la neviza.



Para el caso de glaciares de roca, debe considerarse el espesor de la tenue cubierta detrítica superficial y el probable contenido de detrito rocosos del hielo.

Respecto a las características física de la cubierta detrítica en la superficie de los glaciares de roca, esta se estima como un material, sin cohesión, sin finos y escasa arena, compuesta principalmente de gravas finas a gruesas y angulosas, con un ángulo de fricción interna probablemente del orden de  $36^\circ$  a  $38^\circ$ . Estrato muy poroso y altamente permeable; coeficiente de permeabilidad superior a  $10^{-2}$  cm/s. El espesor de este estrato es variable desde 0,3 m en las cabeceras de los glaciares, hasta 3 o poco más de más metros en el frente de los glaciares. La densidad de esta cubierta de material detrítico poroso es del orden de  $1,800 \text{ kg/m}^3$ , y el peso unitario de los fragmentos rocosos en la cordillera de Chile es del orden de  $2,700 \text{ kg/m}^3$ .

La morrena basal, la parte inferior de los glaciares de roca, en contacto con la roca basal o la morrena de fondo, normalmente incorpora al hielo material detrítico proveniente de la erosión en el fondo o de las márgenes y cabeceras del glaciar. El mayor espesor de morrena basal observado ha sido de 8 m, pero un valor medio parece ser del orden de 0,5 a un metro. El material constitutivo de todas las morrenas basales observado en los taludes y cortes de glaciares ha sido de aproximadamente 50% hielo y 50% de fragmentos detríticos flotando en la matriz de hielo, empleando para esta estimación diagramas representativos de porcentajes de granos en una matriz. Los fragmentos detríticos son siempre angulosos, de escasa o ninguna esfericidad o redondeamiento, y varían en tamaño desde bloques a finos.



## **8. UBICACIÓN DE ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS Y METEOROLÓGICAS.**

### **8.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS.**

Los estudios glaciológicos requieren de dos tipos de estaciones meteorológicas, todas ellas automáticas y capaces de almacenar y transmitir datos. Un tipo son las estaciones empleadas en estudio en la superficie de los glaciares, y son normalmente instalaciones temporales, que se desmontan tras las campañas de terreno y se vuelven a instalar cuando son necesarias. Otro tipo son las estaciones base, permanentes, en fondos de valles, por debajo de la cota mínima de los glaciares en ese valle, y cuyo propósito es el de establecer correlaciones (esencialmente gradientes) para la variación de los parámetros meteorológicos con la cota. Las estaciones temporales deben operar en sincronía horaria con las estaciones base. Ambos tipos de estaciones requieren los mismos sensores, para medir los mismos parámetros (ver capítulo 3.1.2), pero la instalación es diferente y el suministro de energía puede ser diferente si la estación base se instala cercana a un complejo que cuente con ella.

En general, debe tenderse a uniformar el tipo de estación y sensores, de manera que la línea de estos debe continuar con la práctica empleada hasta la fecha por la DGA, a menos que ciertos sensores se hayan caracterizado por algún grado de irregularidad en la adquisición de datos, o subsistencia en condiciones climáticas extremas.

Según lo anterior, estaciones meteorológicas temporales deben adquirirse para los estudios en los glaciares señalados en el capítulo 3.1.3, y como estaciones base en los valles en que se ubican dichos glaciares. En la medida que otros glaciares sean identificados para monitoreo en otras regiones glaciológicas, nuevas estaciones temporales y bases serán necesarias.

Las estaciones arriba mencionadas se requieren para los estudios de glaciares. Pero la obtención de información del manto de nieve, básicamente para predicciones hidrológicas, requiere de estaciones adicionales. En general, se requiere de una red de estaciones nivo-





meteorológicas a lo largo de nuestra cordillera, tal que cuente con una estación cada aproximadamente 100 km de longitud de cordillera. Esto implica crear una red de estaciones meteorológicas que debieran sumar del orden de 40 a 45 estaciones permanentes, incluidas las estaciones base del estudio de glaciares y las estaciones existentes ya establecidas por la DGA (algunas pueden requerir actualización en tipo y número de sensores).

La ubicación de cada estación permanente es un tema a revisar y que se escapa al alcance del presente informe.

Para el establecimiento de la red de estaciones nivo-meteorológicas es importante considerar la posibilidad de convenios de operación e intercambio de datos con empresas que normalmente operan en el ámbito de montaña, como son las empresas mineras (ejemplo convenio con la División Andina de CODELCO, en discusión), y empresas hidroeléctricas. Esto reduciría grandemente el costo de la red, y podría mejorar la operación y estabilidad del sistema y las estaciones. La mayoría de las grandes empresas mineras (o proyectos mineros) en la cordillera opera estaciones nivo-meteorológicas, o simplemente meteorológicas, con diversos grados de bondad en la captación de datos; a modo de ejemplo pueden mencionarse El Teniente, Los Bronces, Andina, Pelambres, El Indio (actualmente cerrada), Pascua Lama, El Morro, entre otras. Lo mismo ocurre con la mayoría de las empresas hidroeléctricas y algunas otras instituciones (universidades, institutos, parques nacionales, etc.).

Algo similar a lo anterior puede considerarse para un intercambio de datos con estaciones privadas y públicas ubicadas en la cordillera en los países limítrofes.

## **8.2. ESTACIONES LIMNIGRÁFICAS.**

El estudio de balance de masa de los glaciares, el que normalmente incluye los balances de hielo/nieve, calórico y de agua, requieren contar con estaciones fluviométricas instaladas en los cursos de agua emergentes de los glaciares pero tan cercanas a los frentes de ellos como sea posible, y a lo menos una cercana a cada glaciar que conforma la red de



monitoreo de glaciares. Por esto mismo, los glaciares con frentes lacustres o marinos no son los más adecuados para conformar la red de glaciares controlados, a menos que se trate de una laguna pequeña, en una cubeta conformada por materiales de baja permeabilidad y descarga única.

En principio, en cada glaciar que conforma la red de control de glaciares debe existir una estación fluviométrica automática, con capacidad de almacenar y transmitir datos. La ubicación precisa debe definirse con visitas y trabajos en terreno. El tipo de estación debe conformar con el estándar de numerosas otras estaciones fluviométricas en el país que instala y controla de Dirección General de Aguas.

Precauciones que deben tomarse al definir la instalación de una estación fluviométrica:

- a) La estación debe protegerse de las acumulaciones de nieve y avalanchas.
- b) En lo posible, evitar la formación de hielo en el espejo de agua del sensor.
- c) Evitar ubicación que pueda ser afectada por lahares o fenómenos GLOF (glacial lake outburst flood).
- d) Evitar ubicaciones en que la posición del cauce pueda variar, hacia fuera de la estación.

La medición de caudales en esteros de montaña es difícil y peligrosa. La mayoría de los autores modernos parece coincidir en que el método más apropiado para esto es el de inyecciones salinas y sus diluciones. Este método se describe en detalle en la publicación de UNESCO (1973) "Hidrología de nieves y hielos en America Latina". Una publicación más reciente es, por ejemplo, Kite (1992) "Computerized streamflow measurements using slug injections", Hydrological Processes, Vol. 7, N° 2, p. 227-233. Un método sísmico, en desarrollo, promete un monitoreo continuo, pero aún requiere más desarrollo.

Aún no existe una solución apropiada para el diseño de estaciones fluviométricas autosustentables en montaña, que solucione el problema de arrastre de sedimentos. Las soluciones más prometedoras parecen estar en la utilización de canales abiertos, de hormigón en V abierta y de fondo plano estrecho (30 a 50 cm) en parte de una pendiente inclinada homogénea, junto con el empleo de sensores como el de ultrasonido (ver, por ejemplo, Jiwani y Lucas, "Methods of flow measurements") para la altura de torrente en el



canal. Aunque las estaciones en gargantas o pendientes estrechas están expuestas al deterioro en crecidas o flujos densos, ellas son menos susceptibles de embanques de sedimentos y, con un apropiado diseño del hormigón y refuerzo de acero, además de placas de enrocado para reducir la erosión, pueden resistir adecuadamente el impacto de crecidas.



## **9. ORGANIZACIÓN DE LA UNIDAD DE NIEVES Y GLACIARES.**

### **9.1. ORGANIZACIÓN PARA EJECUTAR LAS TAREAS.**

#### **9.1.1. Aspectos generales.**

La lista de tareas señaladas en el sub-capítulo anterior debe entenderse como algo que la unidad de nieve y glaciares (UNG) debe abordar paulatinamente, con cierto orden de prioridades y en la medida de disponibilidad de recursos económicos.

La organización interna de la UNG puede construirse según las líneas de las tareas listadas más arriba. Es posible, para efectos de supervisión y línea de responsabilidades, agrupar dos o más tareas. Sin embargo, es necesario reconocer que las técnicas y ámbito de trabajo en cada tarea son significativamente diferentes entre sí, requiriendo profesionales y personal diferentemente entrenado, de manera que este agrupamiento debe considerarse como algo temporal, que ocurre más bien durante el inicio de una nueva tarea.

La cantidad de personal en la UNG dependerá básicamente de la política de organización. Si todas las tareas deben ser asumidas por personal propio, entonces puede estimarse que la UNG requiere de aproximadamente 16 profesionales, 20 técnicos, y un número menor (4 a 5) de personal administrativo.

Sin embargo, si la política es contratar principalmente servicios externos, entonces una docena de personas es suficiente en la UNG, esencialmente capacitados para supervisar labores que ejercen empresas de servicios y para orientar el desarrollo de la actividad en el país.

En todo caso, es conveniente tener presente que, en todo Chile, existen solo tres profesionales glaciólogos con especialización glaciológica de postgrado, no más de 5 profesionales adicionales con experiencia en estudios de nieve y glaciares, además de un número limitado de técnicos. Así, la organización de la UNG debe tener como una de sus primeras prioridades la capacitación de profesionales y técnicos. También, inicialmente debe



necesariamente recurrir a la colaboración y servicios contratados externamente.

### 9.1.2. Organización.

Nieves y glaciares existen en virtualmente toda la cordillera de Chile. Sin embargo, las condiciones de nieve y las características de los glaciares varían a lo largo de la cordillera, como resultado de las diferentes condiciones climáticas en que se encuentran. Por lo mismo, para conocer el comportamiento de los glaciares en Chile es necesario estudiarlos en cada una de las grandes regiones climáticas que se encuentra en la cordillera del país.

Por otra parte, y debido a la gran extensión de la cordillera, el centralizar la UNG en un punto del país no parece eficiente, pues obligaría a continuos grandes traslados del personal y sus equipos. En principio, pensamos que la organización de la UNG debe dividirse de manera similar a aquella de las grandes regiones climáticas, de manera que su personal aborde el estudio de glaciares en cada una de estas regiones con una experiencia local, y con el equipamiento apropiado para cada una de estas regiones.

Las regiones climáticas, las hoyas hidrográficas comprendidas en ellas, y la eventual sede de la UNG para cada una de esas regiones se señalan en la Tabla 9.1.2-A.

**Tabla 9.1.2-A. Regionalización del clima de montaña en Chile, cuencas hidrográficas correspondientes y eventuales sedes de la UNG.**

<b>Clima en montaña</b>	<b>Cuencas hidrográficas</b>	<b>Sede de la UNG</b>
Desierto frío. Tundra por efecto de altura con precipitación invernal en parte Norte y escasa o nula precipitación en parte Sur	Al Norte de latitud de la Quebrada de Taltal y salares La Isla y Gorbea.	Iquique
Desértico, o semiárido, frío. Tundra por efecto de altura, con lluvias invernales.	Desde el Río Salado y el salar de Pedernales por el Norte, hasta el Río Limarí por el Sur.	Copiapó
Templado frío con lluvias invernales. Tundra por efecto de altura.	Cuenca del Río Choapa por el Norte a cuenca del Río Bio-Bio	Santiago



	por el Sur.	
Templado frío lluvioso con influencia mediterránea. Tundra por efecto de altura.	Cuenca del Río Imperial por el Norte a cuenca del Río Chaitén por el Sur.	Puerto Montt
Tundra a polar, ambos por efecto de altura y latitud. Precipitación alta.	Cuenca del Río Palena por el Norte al Río Bravo-Ofqui por el Sur.	Coyhaique
Tundra a polar, ambos por efecto de altura y latitud. Precipitación extremadamente alta.	Desde la cuenca del Río Pascua por el Norte al Cabo de Hornos por el Sur.	Punta Arenas
Polar	Territorio Antártico	Punta Arenas

La oficina central de la UNG será en la sede de Santiago, básicamente por la vecindad con otros servicios básicos de la DGA, como biblioteca, adquisiciones, aspectos legales, centro de red de datos satelitales, jefatura de la DGA y otros.

## **9.2. PERSONAL DE LA UNG.**

### **9.2.1. El personal y su organización.**

Las tareas de la UNG para los años 2008-2011 se señalan en el capítulo 3.

El personal “permanente” en cada sede debe ser un grupo de 4 personas, probablemente dos profesionales y dos técnicos, que laboran continuamente durante los trabajos de terreno en verano (además de la ocasional visita a terreno en invierno) y durante el invierno trabajan en oficina en el análisis de los datos recopilados y confección del informe. La campaña de terreno de verano se inicia normalmente a fines de Noviembre (a lo menos con la preparación de equipos y materiales) y concluye a mediados de Mayo. En la sede de Iquique, con un régimen de lluvias veraniegas, la época de las campañas de terreno se invierte

El grupo “permanente” de cuatro personas en cada sede debe organizar las campañas de terreno de manera apropiada a la región climática y tareas asignadas, trabajando en conjunto cuando sea necesario y realizando turnos en otras ocasiones, de manera de cumplir con períodos de descansos.



Adicionalmente, en la oficina central de la UNG existirá un Jefe de la Unidad, hasta cuatro profesionales con especialidades glaciológicas diferentes (uno de ellos actuará como subjefe de la UNG) y que se movilizarán en todas las regiones en estudios específicos, una bibliotecaria y una secretaria. Los profesionales con especialidades distintas serán (en principio): (i) geología glacial y variaciones glaciales, (ii) desarrollo de software computacional para modelos de simulación de glaciares y otros, (iii) nieve y avalanchas, y (iv) peligros y riesgos glaciares (en particular lahares en los conos volcánicos activos).

Así, al completar su dotación el personal de la UNG se compondrá de los siguientes cargos que se muestran en la Tabla 9.2.1-A.

**Tabla 9.2.1-A. Personal de la UNG y su organización.**

Personal	Sedes					
	Iquique	Copiapo	Santiago y Oficina central	Puerto Montt	Coyhaique	Punta Arenas
Jefe UNG	-	-	1	-	-	-
Glaciologo Jefe sede	1	1	1	1	1	1
Glaciólogo	1	1	1	1	1	1
Técnico 1	1	1	1	1	1	1
Técnico 2	1	1	1	1	1	1
Bibliotecaria	-	-	1	-	-	-
Secretaria	-	-	1	-	-	-
Especialista	-	-	1	-	-	-
Especialista	-	-	1	-	-	-
Especialista	-	-	1	-	-	-
Especialista	-	-	1	-	-	-

Como se indica en la Tabla anterior, al completar su dotación el personal de la UNG se compondrá de 17 profesionales en las diversas disciplinas de la glaciología, una bibliotecaria, 12 técnicos y una secretaria.

Conscientes del hecho que no existen carreras universitarias específicas en glaciología en Chile, el personal profesional a contratar debe provenir, preferentemente, de carreras universitarias en ingeniería, ciencias de la tierra, y ciencias atmosféricas. Entre las



habilidades buscadas en los profesionales están: levantamientos topográficos y posicionamiento satelital (GPS), clima y controles y manejo de instrumental meteorológico, manejo de equipo geofísico (incluye GPR) e interpretación de resultados, conocimiento de ciclo hidrológico, conocimientos de geomorfología y geología glacial y de sedimentología y estratigrafía. Es esencial que los interesados demuestren interés por actividades al aire libre, preferentemente de montaña y práctica básica de ski. Durante los veranos este personal trabajará en los glaciares; durante el invierno en observaciones del manto de nieve.

El personal técnico debe tener, preferentemente, alguna capacitación en algunos de los temas indicados arriba como habilidades profesionales, en particular todos deben capacitarse en las técnicas de nivometría. Por sobre todo, estas personas deben poseer un claro interés como montañero con habilidades de ski; siempre se ha demostrado que es más fácil entrenar a un montañero en las técnicas de mediciones en nieve y glaciares, que entrenar como montañero y eskiador a una persona que no tiene esas habilidades..

### **9.2.2. Capacitación del personal.**

El entrenamiento básico, teórico (cursos breves de hasta 1 mes de duración) y práctico (en terreno), debe hacerse en contrato con algunos de los glaciólogos profesionales chilenos. El detalle de los cursos teóricos y prácticos debe explicitarse.

Geoestudios, una empresa con sede en Santiago y amplia experiencia en temas de glaciología, ha dictado cursos básicos y avanzados de nivometría y de avalanchas y protecciones, y cursos básicos de glaciología, en Chile y Argentina. En algunas universidades chilenas se han dictado en el pasado cursos de glaciología básica, dependiendo esto de la presencia de algún profesional con experiencia en el tema, pero no como una oferta permanente de formación. Cursos de seguridad en montaña, y de primeros auxilios, se dictan regularmente en instituciones especializadas.

Un listado de los cursos posibles de organizar en Chile en un breve plazo de algunos meses, son:





- i. Nivo-meteorología, nivometría.
- ii. Glaciología, deslizamiento de glaciares y técnicas de terreno.
- iii. Geología glacial.
- iv. Avalanchas y protección de avalanchas.
- v. Hielo lacustre y lagunas-proglaciares.
- vi. Suelos helados.
- vii. Seguridad en montaña.
- viii. Primeros auxilios.

Es necesario iniciar a la brevedad la capacitación del personal de la UNG. Esto debe iniciarse con cursos breves e intensos en todos los temas, pudiendo postergarse los temas de hielo lacustre y suelo helado. Los cursos deben ser dictados por especialistas, donde lo determine la DGA. Pueden ser en el mismo MOP, donde se defina en acuerdos contractuales, o bien según acuerdos con instituciones de enseñanza superior (universidades).

En principio, los cursos podrían ser, por ejemplo:

- Nivo-meteorología y nivometría, 6 días de clases teóricas, 2 en terreno.
- Protección de avalanchas, 5 días de clase teóricas, 2 en terreno.
- Glaciología, 7 días de clases teóricas (previo curso de nivometeorología y nivometría).
- Geología glacial, 6 días de clases teóricas (previo curso de glaciología), 2 días de terreno
- Seguridad en montaña, 3 días de clases teóricas, 2 de prácticas en terreno.
- Primeros auxilios en montaña, 3-4 días de clases teóricas y prácticas.



**III. ANEXOS.**



## **1. ANTECEDENTES PARA DESCRIBIR LA LINEA BASE DE UN GLACIAR.**

### **1.1. ASPECTOS GENERALES.**

Ver definiciones de glaciares según International Glaciological Society, y normas para el inventario de glaciares de Canada.

Un programa general de captura de información para la Línea de Base de glaciares, o de glaciares de roca, se señala a continuación. Con este programa se pretende lograr un nivel de conocimiento al menos regular en los glaciares, y en sus aspectos más relevantes. Todas las observaciones deben realizarse a lo largo de, a lo menos, un año.

### **1.2. INFORMACIÓN BÁSICA DEL ENTORNO.**

#### **1.2.1. Cartografía e imágenes.**

- a) Obtener fotografías aéreas recientes (5 años antigüedad como máximo), obtenidas a fin del verano con mínimo de nieve, de toda la subcuenca de alta montaña, valle, o quebrada en que se ubica el glaciar. De calidad tal que permita restituciones aerofotogramétricas de escala 1:10.000 si es que esta topografía no existe.
- b) Confeccionar plano topográficos con las imágenes fotográficas geo-referenciadas. En sustitución de fotografías aéreas pueden emplearse imágenes satelitales de alta resolución.
- c) Confeccionar cartografía de escala 1:10.000 de toda la subcuenca de alta montaña, valle o quebrada en que se encuentra el glaciar.

#### **1.2.2. Clima.**

- a) Si no existe, instalar una estación nivo-meteorológica completa en la cuenca de montaña, valle o quebrada en que se ubica el glaciar, pero fuera de este; ubicada idealmente a cota similar a la de la Línea de Equilibrio del glaciar y, en todo caso, a cota no menor que unos 500 m. aproximadamente por



debajo de la cota inferior del frente del glaciar. Registro mínimo: un año continuo. Tipo de registros: datos diarios.

- b) Describir el clima del área. Utilizar para ello datos nivo-meteorológicos. Clasificar el clima, según:
  - i. Sistema basado en masas de aire y zonas frontales. Indicar grupo y tipo.
  - ii. Sistema Köppen-Geiger. Indicar tipo.
- c) Proporcionar toda la información en formato digital.
- d) Recopilar antecedentes de otras estaciones meteorológicas o fluviométricas en la región, que pueden ser de interés para el estudio del entorno del glaciar.

### **1.2.3. Catastro de glaciares del área.**

- a) Confeccionar el catastro (o inventario) de todos los glaciares del área (sub-cuenca alta de montaña, o valle de montaña) en que se ubica el glaciar, según las recomendaciones de UNESCO o, por ejemplo, las normas Canadienses para el catastro de glaciares. Utilizar fotos aéreas georeferenciadas, imágenes satelitales de alta resolución, o trabajos de terreno. Utilizar la cartografía de escala 1:10.000 o mejor.
- b) Presentar un plano de ubicación de glaciares, con la base topográfica empleada.
- c) Presentar para cada glaciar, la hoja de datos según instrucciones para la confección del catastro de glaciares

### **1.3. EXTENSIÓN, ESPESOR Y VOLUMEN DEL GLACIAR.**

- a) Mostrar en un plano de escala 1:5.000 o mejor, la extensión del glaciar. Con fotografía aérea, o imagen satelital de alta resolución, sobrepuesta (previa georeferenciación y ortorectificación de la imagen).
- b) Mostrar en un perfil longitudinal por el eje del glaciar, el espesor del glaciar. Si hay lenguas coalescentes, mostrar tantos perfiles como lenguas.
- c) Mostrar el espesor del glaciar en a lo menos tres perfiles transversales. En glaciares mayores uno por la Línea de Equilibrio, otro por el medio de la Zona de Acumulación, y otro por el medio de la Zona de Ablación.
- d) Ejecutar a lo menos un sondaje a través de todo el glaciar, alcanzando la morrena de fondo o la base rocosa. Calibrar los perfiles con el dato de sondaje.
- e) Apoyar todos los perfiles longitudinales y transversales con exploración geofísica (por ejemplo GPR, sísmica, gravimetría, etc.). El método de exploración debe ser el apropiado para el tipo de glaciar que se investiga. Pasar algunos perfiles por el punto de sondaje y calibrar estos.



- f) A partir de los datos de extensión y de perfiles de espesor del glaciar, calcular el volumen total del glaciar. En este se incluye el hielo de la base del glaciar con detritos incorporados (también llamado “morrena” basal), pero no la morrena de fondo sin hielo. Se debe incluir el detrito superficial en los glaciares de roca.

#### **1.4. DEFINICIÓN DEL TIPO DE GLACIAR.**

- a) Clasificación morfológica del glaciar – en base a antecedentes de fotos aéreas, imágenes satelitales de alta resolución, o trabajos de terreno. Utilizar normas UNESCO o de Canada.
- b) Temperatura de la masa de hielo, en profundidad. Los glaciares se clasifican como: de hielo temperado, de hielo frío, o politérmicos.
- c) Medir y registrar temperatura en cada uno de los glaciares que se analizarán. Esto se puede realizar en sondajes perforados hasta la base de los glaciares e insertando aproximadamente 5 a 6 sensores de temperatura en cada sondaje, a diferentes cotas. Las temperaturas deben controlarse a lo menos mensualmente, y registrarse diariamente en un almacenador de datos (data-logger).

#### **1.5. ESTRATIGRAFIA DEL GLACIAR.**

- a) Estratigrafía del glaciar (esencialmente la proporción de hielo-detrito en el núcleo del glaciar, y en la morrena basal, y de ser posible, acumulaciones anuales).
- b) Describirla a partir de antecedente obtenido de muestras de sondaje (eventualmente algunos pozos profundos), inclusive del material sub-glacial (morrena de fondo).
- c) Debe realizarse la descripción estratigráficas en al menos un sondaje en cada glaciar.
- d) Para lo anterior pueden utilizarse los mismos sondajes realizados para luego registrar las temperaturas en profundidad en el glaciar.
- e) En un glaciar de roca, o en un glaciar blanco parcialmente cubiertos por detritos rocosos, debe hacerse una descripción de la estratigrafía del detrito rocoso superficial hasta alcanzar el hielo. Obtener este antecedente de, a lo menos, 3 pozos excavados en el detrito rocoso superficial.



## **1.6. BALANCE DE MASA.**

### **1.6.1. Balance de hielo.**

#### **1.6.1.1. En la superficie del glaciar.**

- a) Medirse en una red de puntos en cada glaciar, según recomendaciones de UNESCO.
- b) El número mínimo de puntos (P) en cada glaciar debe ser del orden de  $P = 7 + S^{0.5}$ , donde S es el número de hectáreas que cubre la superficie del glaciar.
- c) Los puntos deben distribuirse de manera que representen equitativamente a todos los sectores del glaciar, y que eviten sendas de avalanchas.
- d) Las observaciones de nieve o hielo en la red de puntos debe ser realizada a lo menos 3 veces por año (mitad del invierno con máxima acumulación de nieve, fin del invierno y fin del verano antes de nuevas precipitaciones).
- e) Los puntos deben ser marcados con estacas o torres, de manera que subsistan de un verano a otro. En el caso de penitentes, utilizar marcos dispuestos de manera perpendicular a la dirección de los penitentes.
- f) En los glaciares de roca cavar el detrito superficial, insertar estaca con sonda para hielo, y restituir el detrito.
- g) En cada punto, mientras persista nieve de la temporada, controlar las acumulaciones (espesor, densidad, cristales, gradiente de temperatura, estratigrafía y resistencia mecánica, en el manto de nieve). En hielo controlar cambios de altura de la superficie en las estacas, y densidad. En puntos con cubierta de detritos sobre el hielo, controlar descenso de la superficie del detrito, al menos tres veces mientras subsiste el manto de nieve. Realizar el balance de masas de glaciares anualmente, durante toda la vida del proyecto minero.
- h) Calcular el balance de masa en términos estacionales y anuales. Mostrar en un plano la posición de la Línea de Equilibrio en el glaciar, e indicar áreas de las zonas de acumulación y ablación. En glaciares pequeños, sin distinción de zonas, indicar solamente si se trata de un año positivo o negativo.
- i) Según datos meteorológicos regionales, indicar la probabilidad de ocurrencia, en término de montos de precipitación, del año en el cual se realiza el balance de masas

#### **1.6.1.2. En la base del glaciar.**

- a) En la base de los glaciar, estimar la pérdida de hielo según datos del balance calórico en la base del glaciar.
- b) Calcular el balance en términos anuales.



## **1.6.2. Balance calórico.**

### **1.6.2.1. En la superficie del glaciar.**

- a) Instalar a lo menos una estación meteorológica automática en el glaciar (preferentemente en el centro del glaciar) para recolectar los datos necesarios para realizar el balance calórico en la superficie del glaciar durante el verano. Durante el invierno, si se mantiene la estación, esta debe ubicarse en sitios libres de peligros de avalanchas; si no se mantiene, extrapolar datos desde estación nivo-meteorológica fuera del glaciar..
- b) La estación meteorológica debe recolectar datos cada hora a lo menos.
- c) Los datos a recolectar en la estación meteorológica en el glaciar deben ser, a lo menos, los siguientes:
  - i. Temperatura del aire a 3 niveles, entre 0,5 y 4 m por sobre la superficie de nieve o entre 0,1 y 4 m por sobre punta de penitentes (para obtener gradiente con la altura por sobre un piso).
  - ii. Velocidad del viento a 3 niveles (idem anterior)
  - iii. Dirección del viento (idem anterior).
  - iv. Presión atmosférica.
  - v. Humedad relativa.
  - vi. Radiación en onda corta incidente.
  - vii. Radiación en onda corta reflejada.
  - viii. Radiación en onda larga incidente.
  - ix. Radiación en onda larga emitida por la superficie.
  - x. Distancia a superficie de nieve o hielo (para evaluar depósitos de nieve fresca y tasas de ablación), normalmente es un sensor de altura de nieve.
  - xi. Evaporación, con evaporímetro tipo Piche o similar.
  - xii. Condensación sobre la superficie de hielo o nieve (evaluada de otros parámetros y medida ocasionalmente durante la temporada, con balanza).
  - xiii. Precipitación líquida y nival (con pluviógrafo-nivógrafo de boca ancha, y “colchon de nieve”).
- d) En los meses de invierno (si la estación se mantiene) agregar sensores de:
  - i. Gradiente de temperatura en el manto de nieve.
- e) En invierno variar la altura de los sensores para evitar que queden sepultados por la nieve.
- f) La gradiente de temperatura en la cubierta de detrito superficial (en glaciar de roca o en glaciar en transición), y sus variaciones, debe registrarse en al menos dos pozos en cada glaciar excavados hasta el contacto detrito-hielo, y habilitados con sensores de temperatura (4 a 6 sensores) colocados a diferentes



profundidades y almacenador de datos (data-logger). Los pozos deben encontrar profundidades máximas y medias del detrito superficial sobre el hielo del glaciar. Los registradores de los pozos deben instalarse de manera de no ser afectados por eventuales avalanchas.

- g) En glaciares cubiertos parcialmente, o totalmente (glaciares de roca) por detritos rocosos en superficie, determinar conductividad térmica del detrito superficial.
- h) En glaciares cubiertos con detritos parcial o totalmente (glaciares de roca), calcular las tasas de fusión del hielo infrayacente utilizando los datos de gradiente de temperatura obtenidos de los pozos equipados con sensores de temperatura, de conductividad térmica y el aporte de calor a la superficie del detrito.
- i) Considerar los registros de nieve y meteorológicos de la estación nivometeorológica en la cuenca para establecer gradientes locales de parámetros meteorológicos y estimar balances calóricos en los glaciares en diferentes bandas altitudinales.
- j) Calcular los balances calóricos en cada glaciar al menos en términos semanales.
- k) Los balances calóricos deben evaluarse, a lo menos, durante un ciclo anual.

#### **1.6.2.2. En la base del glaciar.**

- a) En la base del glaciar, calcular el aporte de calor geotérmico con antecedentes de la gradiente geotérmica en el área.
- b) Calcular el aporte de calor por fricción en la base del glaciar según datos de velocidades de deslizamiento y carga por el peso de la columna de hielo más eventuales materiales detríticos incorporados en el hielo o transportados por este (datos que provienen de la estratigrafía y espesor del glaciar). Discriminar entre velocidades de deslizamiento en verano y velocidades en invierno.

#### **1.6.3. Balance hídrico.**

- a) Instalar una estación fluviométrica en el estero o río efluente (aunque sea solo estacional) del glaciar, en lugar seguro y lo más próximo a este. Instalar otra estación fluviométrica en el punto de descarga de la subcuenca de alta montaña, o valle, en que se encuentra el glaciar.
- b) Instalar un evaporímetro en la estación nivo-meteorológica ubicada en la sub-cuenca de alta montaña, o valle, en que se ubica el glaciar.
- c) Utilizar los registros de la estación nivo-meteorológica en la subcuenca o valle de montaña, de la estación meteorológica en el glaciar, y de las observaciones para el balance de hielo, para calcular el balance hídrico





(incluido condensación y evaporación)

- d) Calcular el balance hídrico al menos en términos mensuales, incorporando todos los datos de fluviometría, nieve y meteorología del área.

## **1.7. VELOCIDAD DE MOVIMIENTO Y TENSIONES EN EL GLACIAR.**

### **1.7.1. En superficie.**

- a) Debe ser determinada en una red de puntos. Medir la red a lo menos 2 veces por año (inicio del verano y mediados de otoño o inicio de invierno).
- b) El número mínimo de puntos (P) en cada glaciar debe ser del orden de  $P = 7 + S^{0.5}$ , donde S es el número de hectáreas que cubre la superficie del glaciar.
- c) Diseñar la red de estacas y la posición de las estaciones de manera libre de las interferencias con otras operaciones en el glaciar, y marcar los puntos de manera tal de no ser alterados por avalanchas y que puedan ser ubicados tras la temporada invernal y la cubierta de nieve.
- d) La precisión de las coordenadas de los puntos en cada control debe ser mejor que +/- 5 cm.

### **1.7.2. En la base del glaciar (velocidad de deslizamiento).**

- a) Obtener información de velocidad de deslizamiento en la base del glaciar, en a lo menos 1 punto en el glaciar, cerca de su Línea de equilibrio, o parte central de mayor espesor.
- b) Hacerlo mediante un sondaje en cada punto, controlado el sondaje con inclinómetro y con control de la velocidad de desplazamiento del collar del sondaje en superficie (obtenida de mediciones con topografía de detalle).
- c) Realizar los controles con inclinómetro al momento de concluir el sondaje, luego a los 7, 15 y 30 días, y luego cada mes mientras la deformación del sondaje, y el clima, lo permitan.

### **1.7.3. Velocidad de deformación.**

- a) Calcular la velocidad de deformación teórica en las estacas de velocidad, utilizando los datos de estratigrafía del glaciar, espesores y pendiente. Estimar velocidad de deslizamiento según observaciones.
- b) Comparar la velocidad en superficie con la suma de la velocidad de deformación + la velocidad de deslizamiento.



#### **1.7.4. Tensiones en la superficie del glaciar.**

- a) Evaluar el estado de las tensiones en la superficie del glaciar, instalando redes (cuadriláteros) de deformación de hielo (u otro método de medir deformación). Al menos tres redes en cada glaciar: una cerca de la Línea de Equilibrio, otra al medio de la Zona de Acumulación y otra al medio de la Zona de Ablación.
- b) Controlar la redes al menos tres veces cada año, al inicio, medio y término de la temporada de verano. Medir las deformaciones en los cuadriláteros con huincha de 100 m graduada al milímetro y empleando tensión uniforme en la huincha (ejemplo, 5 kg). Donde sea necesario, instalar soportes para la huincha en distancias no mayores que 10 m.
- c) Las longitudes en las redes debe medirse con precisión de +/- 2 mm.

#### **1.8. ESTABILIDAD GENERAL DE LOS GLACIARES.**

- a) Realizar un análisis de estabilidad general (ante la posibilidad de ocurrencia de deslizamiento catastrófico).
- b) Considerar condiciones meteorológicas (y niveles freáticos en el glaciar) extremas y aceleraciones sísmicas extremas, por separado y en conjunto. Indicar recurrencias de estos fenómenos.
- c) Evaluar para diversas condiciones de material en la base del glaciar (roca, morrena de fondo, otros). En esto es de primordial importancia evaluar las reales características geomecánicas de las morrenas de fondo, considerando su variada granulometría, ausencia de cohesión, y presión de poros con saturación total de los glaciares (una situación que suele ocurrir en días calurosos). Para esto, extraer muestras de la morrena de fondo y ensayar en laboratorio (con altas presiones de agua y carga dinámica).
- d) Calcular el Factor de Seguridad resultante del cálculo de estabilidad.

#### **1.9. VARIACIONES DE LOS GLACIARES.**

##### **1.9.1. Variaciones recientes.**

- a) Debe hacerse un completo estudio de las variaciones recientes de los frentes y márgenes de todos los glaciares, empleando todos los juegos de fotografías terrestres aéreas antiguas ( las que deben ser georeferenciadas con la mejor topografía reciente) recopilables, y recientes o actuales. También, planos



topográficos de diversa épocas.

- b) Deben instalarse puntos de registros fotográficos de terreno, en las vecindades del frente del glaciar pero suficientemente alejado como para no ser alterados por eventuales avances del glaciar. Desde estos puntos, deben tomarse registros fotográficos de los glaciares, al menos una vez cerca del fin del verano. Los puntos deben instalarse en sitios que no sean afectados por otras operaciones cerca del glaciar.
- c) Deben recopilarse y analizarse registros satelitales antiguos, que pueden contener imágenes de glaciares (de suficiente detalle) en sitios no cubiertos por fotografías aéreas.
- d) Debe hacerse un reconocimiento en terreno de formas y depósitos glaciales recientes.
- e) Comparar los diversos antecedentes (ejemplo, juegos de fotografías aéreas) y concluir respecto a las variaciones (de posición del frente y márgenes del glaciar, de espesor y de volumen..

### **1.9.2. Variaciones cuaternarias.**

- a) Es importante entender la presencia y extensión de los glaciares en el pasado en la cuenca, y permitir proyecciones a futuro.
- b) Debe realizarse un estudio de geología glacial que involucre a todo el área de la subcuenca de alta montaña, o valle, en que se ubica el glaciar.
- c) El estudio debe mostrar la extensión actual de los diversos depósitos glaciales, ordenar estos por antigüedad (a lo menos relativa), intentar fechar los episodios glaciales del pasado, y las posiciones y estadios de los frentes glaciales en el pasado.
- d) En caso de ser necesario para un adecuado conocimiento, podría ser necesario extender el área del estudio a regiones vecinas.
- e) El estudio es necesario realizarlo una sola vez.
- f) La parte de trabajos de terreno debe realizarse en los meses de verano.
- g) Debe emplearse la mejor topografía existente, en lo posible de escala 1:10.000.

### **1.10. BIODIVERSIDAD.**

El propósito del estudio es el de obtener el conocimiento básico del eventual sistema biológico asociado a glaciares, esto es la línea base biológica, en a lo menso un ciclo anual para definir relaciones ecosistémicas intraglaciár (si existiesen) e interecosistemas (relaciones funcionales entre glaciar y ecosistemas presentes en la cuenca).



Se espera, a priori, que los estudios revelen la presencia de a lo menos bacterias y algas en glaciares. Debería dilucidarse la relación que tendrían los glaciares de altura con el resto de los humedales presentes aguas abajo dentro del área de estudio. También deben establecer conexiones ecosistémicas entre las distintas áreas de influencia, con el fin de determinar si existen relaciones funcionales y cuantificables entre ellas, o son sistemas ortogonales en cuanto a dependencia mutua.

### **1.10.1. Estudio de línea de base y relaciones.**

Recopilación de antecedentes geográficos, físicos y biológicos del área de estudio.

Recopilación de antecedentes climatológicos del área, determinación de variables promedio históricas (temperatura, precipitaciones, humedad, entre otras).

Estudio de la limnología de lagunas de altura asociadas a glaciares (proglaciales y supra-glaciales):

Estudio de características físico químicas.

Estudio de Línea Base de la macroinfauna, fauna y flora asociada a lagunas glaciares.

Estudio de Invertebrados asociados a los glaciares.

- i. Línea de Base de invertebrados, asociados a los glaciares.

Estudio de vertebrados asociados a glaciares y lagunas de altura (pro-glaciales y supra-glaciales):

- i. Línea de Base de vertebrados (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) asociados a los glaciares y lagunas de altura.
- ii. Especies con problemas de conservación

Estudio del ecosistema aguas abajo, asociado a los glaciares:

- i. Determinación de potenciales relaciones funcionales (e.g., recarga de agua) de glaciares con humedales y hábitat aguas abajo.
- ii. Línea de Base de ecosistemas (humedales y hábitat) asociados a glaciares.
- iii. Línea de Base de flora y vegetación.
- iv. Línea de Base de fauna.
- v. Verificación de sitios protegidos o áreas prioritarias para la conservación de biodiversidad cercanas o al interior del área de estudio

### **1.10.2. Análisis ecosistémico del glaciar.**

- a) Estudio de la limnología de lagunas de altura asociadas a glaciares:



- i. Estudio complementario de la Línea Base de macroinfauna y fauna.
  - ii. Estudio de dinámicas temporales de la macroinfauna asociada a las lagunas de altura y de potencial densoindependencia para variables abióticas.
- b) Estudio de invertebrados asociados a los glaciares:
- i. Estudio complementario de la Línea Base de invertebrados.
  - ii. Estudio de dinámica de cambios estacionales asociados a los Invertebrados presentes en ambientes glaciares y de potencial denso independencia para variables abióticas
- c) Estudio de vertebrados asociados a glaciares y lagunas de altura:
- i. Complemento de la Línea de Base de vertebrados (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) asociados a los glaciares y lagunas de altura.
  - ii. Dinámica de cambios estacionales asociados a los vertebrados presentes en ambientes glaciares y lagunas de altura (lagunas pro-glaciales o supra-glaciales).
  - iii. Estudio de densoindependencia
- d) Estudio del ecosistema aguas abajo, asociado a los glaciares:
- i. Complementación Línea de Base de dicho ecosistema.
  - ii. Complementación flora y vegetación.
  - iii. Estudio fino de dependencias de ecosistemas presentes aguas abajo de los glaciares, prueba de hipótesis (confirmación experimental de dependencia, por ejemplo, a través de isótopos marcados).
  - iv. Determinación de dinámicas temporales de comunidades animales y vegetales presentes en ecosistemas aguas debajo de glaciares y estudio de densoindependencia



## **2. MOCION EN EL SENADO DE CHILE SOBRE PROTECCIÓN DE GLACIARES.**

### **2.1. MOCION PRESENTADA.**

#### **Moción**

**PROYECTO DE LEY SOBRE  
VALORACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS GLACIARES  
Modifica Código de Aguas y ley 19.300 General  
de Bases del Medio Ambiente**

#### **HONORABLE SENADO:**

Chili en aymará significa confín helado, es decir ya desde los pueblos originarios nuestro país fue asociado con cordilleras, nieves, glaciares y temperaturas más bajas. Los glaciares son un elemento que identifica a Chile en el Hemisferio Sur del planeta.

Los glaciares son ecosistemas que incluyen agua superficial o subterránea, congelada en su mayoría y están formados por los restos de la gran cobertura de hielo que se extendió sobre una buena parte de las latitudes altas y en las zonas de altura de la Tierra durante las últimas glaciaciones del cuaternario. Se trata de formaciones de hielo permanente que pasan de una estación a otra y tienen una gran importancia como agentes erosivos de primer orden, constituyendo una gran reserva de agua dulce del Planeta.

Antecedentes entregados en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en 2002, en Johannesburgo, Sudáfrica, indican que aunque el 70 % de la superficie de la Tierra está cubierta por agua, solamente el 2.5 % del agua disponible es dulce, mientras que el restante 97.5 % es agua salada. Casi el 70 % del agua dulce está congelada en los glaciares, y la mayor parte del resto se presenta como humedad en el suelo, o yace en profundas capas acuíferas subterráneas inaccesibles. Menos del 1 % de los recursos de



agua dulce del mundo están disponibles para el consumo humano.

La misma información señala que aproximadamente 1.100 millones de personas, es decir, el 18% de la población mundial, no tienen acceso a fuentes seguras de agua potable, y más de 2.400 millones de personas carecen de saneamiento adecuado. En los países en desarrollo, más de 2.200 millones de personas, la mayoría de ellos niños, mueren cada año a causa de enfermedades asociadas con la falta de acceso al agua potable, saneamiento inadecuado e insalubridad. Además, gran parte de las personas que viven en los países en desarrollo sufren de enfermedades causadas directa o indirectamente por el consumo de agua o alimentos contaminados o por organismos portadores de enfermedades que se reproducen en el agua. Con el suministro adecuado de agua potable y de saneamiento, la incidencia de contraer algunas enfermedades y consiguiente muerte podrían reducirse hasta en un 75 %.

Las áreas de escasez y de demanda de agua van en aumento, especialmente en el norte de África y en Asia occidental. Durante las próximas dos décadas, se espera que el mundo precise de un 17 % más de agua para cultivar alimentos para las crecientes poblaciones de los países en desarrollo, y el consumo total del agua aumentará en un 40 %. La tercera parte de los países en regiones con gran demanda de agua podrían enfrentar escasez severa de agua en éste siglo, y para el 2025, dos tercios de la población mundial probablemente vivan en países con escasez moderada o severa.

De acuerdo al Inventario de glaciares en Chile, publicado por el Laboratorio de Glaciología, del Centro de Estudios Científicos y la Universidad de Chile, en Chile se han inventariado, hasta el año 2002, 1.751 glaciares con una superficie de 15.260 km<sup>2</sup> de hielo. Se estima además una superficie no inventariada de 5.315 km<sup>2</sup> de hielo, lo que totaliza para el país una superficie cubierta de glaciares de 20.575 km<sup>2</sup>.

Durante la última era glacial, los glaciares llegaron a cubrir más del 30 por ciento de la superficie terrestre, lo cual actualmente se ha disminuido hasta un 10 % por causa del calentamiento global. Registros muestran que los glaciares en la Cordillera Blanca (Ancash, Perú) se han ido reduciendo desde 1970 conllevando a una disminución del área en un 75% durante un periodo de 25 años con impactos significantes sobre la disponibilidad de agua y



aumento en peligros de deslaves así como avalanchas de hielo. Más de 20 eventos catastróficos de inundaciones han sido registrados desde el comienzo del siglo XVIII, al ser destruidos asentamientos con la pérdida de miles de vidas

En el caso del sur de Asia y China, según estudios científicos el 40% de las personas podrían sufrir su escasez en 50 años, a medida que el calentamiento global derrita los glaciares del Himalaya, principal fuente acuífera de la región.

Los glaciares proporcionan unos 8,6 millones de metros cúbicos al año a los ríos asiáticos, incluidos el Yangtse y el río Amarillo de China, el Ganges en La India, el Indo en Pakistán, el Brahmaputra en Bangladesh y el Irrawaddy en Birmania. Sin embargo, a medida que el calentamiento global aumenta, los glaciares se reducen con rapidez, con temperaturas medias que se incrementaron en un grado centígrado desde la década de 1970.

Un informe del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), señaló, en marzo de 2005, que un tercio de los glaciares del mundo podrían desaparecer hacia el año 2050 y la mitad para alrededor de 2100 por efectos del cambio climático y el incremento de la agricultura de montaña. Los expertos están preocupados, pues aproximadamente un 67% de los casi 34.000 kilómetros cuadrados de glaciares están retrocediendo y a largo plazo, a medida que el hielo disminuya, el flujo de los ríos caerá, llevando a una grave escasez de agua en la región. El glaciar Gangotri, donde nace el Ganges, disminuye su tamaño en 23 metros al año.

Un estudio de la Universidad de Santiago, Chile, señala que si bien los ecosistemas polares se conservan todavía relativamente intactos cuando se les compara con otros, su condición —alguna vez prístina— ya está mostrando los signos del cambio climático y otras presiones. Los efectos del cambio climático en las regiones polares son mayores que en cualquier otro punto de la Tierra. Todavía no está claro si el adelgazamiento del hielo que se ha notado en ciertas áreas es parte de una variación climática natural o consecuencia de la actividad humana; tampoco queda claro si la masa total de las placas de hielo polar está aumentando, disminuyendo o fluctuando dentro de parámetros normales. Pero las regiones polares proporcionan una evidencia amplia de calentamiento a través de los núcleos de hielo y la retirada de los glaciares (Watson et al. 1998:90-91). Entre tanto, la perturbación inmediata causada por la contaminación y por niveles insostenibles de pesca comercial de algunas





poblaciones de peces es significativa y continúa aumentando.

En julio de 2005 informes de la NASA revelan que los glaciares se están derritiendo más rápido de lo previsto. Indica esta información que, en los últimos 50 años, el nivel del mar ha aumentado a un ritmo estimado de 1,8 centímetros por año, pero en los últimos doce años este ritmo parece ser de 3 centímetros por año. Esto supone un ritmo un 50 % mayor que la media de los últimos 50 años. Casi la mitad de esta subida era atribuida hasta ahora a la expansión del agua de los océanos debido al aumento de la temperatura, según Steve Nerem, del Centro de Investigación Astrodinámica de Colorado.

Sin embargo, las nuevas medidas por satélite de las que dispone la NASA han permitido a los científicos determinar que la principal causa de este aumento es el incremento del deshielo. Las evidencias señalan que el nivel del mar sube y baja cuando el hielo sobre la tierra crece o disminuye. Con las nuevas medidas ahora disponibles, es posible determinar el ritmo al que el hielo está creciendo y disminuyendo. Se estima que más de 100 millones de personas que viven desde el delta del Mississippi hasta las islas Maldivas y en multitud de zonas costeras alrededor de todo el mundo se verán afectadas por un incremento de un metro en el nivel del mar, según señala Waleed Abdalati, responsable del Programa de Criosfera (regiones cubiertas por nieve o hielo) del Centro Goddard de Vuelos Espaciales de la NASA.

Nuestra Constitución Política se preocupa especialmente de la preservación de la naturaleza y del derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, garantizando, en el N° 8 de su artículo 19º, el derecho de todas las personas a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, a la vez que impone al Estado el deber de velar por que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza. Asimismo, faculta al legislador para establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente.

Por otra parte, al tratar la garantía constitucional del derecho de propiedad, en el inciso segundo del N° 24 del mismo artículo, autoriza expresamente a la ley para establecer las



limitaciones y obligaciones al derecho de propiedad que deriven de su función social, precisando que dicha función social comprende, entre otros factores, las exigencias de la conservación del patrimonio ambiental.

La jurisprudencia de los Tribunales Superiores ha señalado que el “medio ambiente”, el “patrimonio ambiental”, la “preservación de la naturaleza” de que habla la Constitución y que ella asegura y protege, es todo lo que naturalmente nos rodea y que permite el desarrollo de la vida y tanto se refiere a la atmósfera como a la tierra y sus aguas, a la flora y fauna, todo lo cual conforma la naturaleza con sus sistemas ecológicos de equilibrio entre los organismos y el medio en que viven. Por tanto, han concluido reiteradamente, el medio ambiente se afecta si se contamina o si se altera de modo perjudicial para el mejor desarrollo de la vida.

Es indudable que la valoración y protección de los glaciares, como ecosistemas que forman parte fundamental del entorno natural de nuestro país, y que representan una de las más importantes reservas de agua dulce para la Humanidad, debe ser reconocida e impulsada por el legislador, en cumplimiento del deber que le impone la Constitución de velar por que el derecho de vivir en un medio ambiente libre de contaminación no sea afectado y, especialmente, de su obligación de tutelar la preservación de la naturaleza.

Creemos que los antecedentes anotados justifican proponer una legislación especial que, junto con valorar y resguardar la preservación de los glaciares, como ecosistemas que incluyen agua superficial o subterránea que constituyen una gran reserva de agua dulce del Planeta, prohíba la intervención y la ejecución de cualquier tipo de proyectos en ellos, e imponga la obligación de monitorear estudiar y ejecutar las obras que garanticen la protección de los glaciares, en aquellos proyectos que se desarrollen en sus inmediaciones o en su área de influencia. En cuanto a las obras que por algún motivo estén afectando glaciares, la ley establecerá que deberán monitorearse, efectuar un plan definiendo un plazo de no intervención del glaciar y la realización de obras y planes piloto para reconstituir los glaciares en la medida y donde sea posible.

Por las razones expuestas, tenemos el honor de proponeros la siguiente



**Moción**

**PROYECTO DE LEY SOBRE  
VALORACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS GLACIARES  
Modifica Código de Aguas y ley 19.300 General  
de Bases del Medio Ambiente**

**Artículo 1º.-**

Los glaciares son ecosistemas que incluyen agua superficial o subterránea, congeladas en su mayoría, y están formados por los restos de la gran cobertura de hielo que se extendió sobre una buena parte de las latitudes altas de la Tierra durante las últimas glaciaciones del cuaternario. Se trata de formaciones de hielo permanente que pasan de una estación a otra y tienen una gran importancia como agentes erosivos de primer orden, constituyendo una gran reserva de agua dulce del planeta.

**Artículo 2º.-**

Se prohíbe la intervención y la ejecución de cualquier tipo de proyectos en los glaciares. Cualquier proyecto cercano, en las inmediaciones o en el área de influencia de un glaciar debe ser monitoreado, estudiado y las obras deben dar garantía que protegerán los glaciares.

**Artículo 3º.-**

Agréguense las siguientes palabras a la letra b) del Artículo 11 de la Ley 19.300 General de Bases del Medio Ambiente, antes del punto y coma (;), reemplazando éstos por una coma (,):

**“efectos adversos sobre glaciares;”**

**Artículo 4º.-**

Agréguense la siguiente frase al Artículo 2º del DFL 1122 de 1981, del Ministerio de Justicia, Código de Aguas:



**“Todo lo que se refiera a glaciares se regirá por una ley especial”**

**Artículo 5º.-**

Agréguese el siguiente Artículo 41 bis al DFL 1122 de 1981, del Ministerio de Justicia, Código de Aguas:

**“Para todos los efectos de control, monitoreo, catastro, investigación, prevención, valoración y cuidado de los glaciares, éstos se considerarán parte del ciclo hidrológico de las aguas”.**

**Artículo 6º.-**

Agréguese el siguiente Artículo 318 al DFL 1122 de 1981, del Ministerio de Justicia, Código de Aguas:

**“Se prohíbe intervenir o depositar elementos extraños que puedan afectar la condición natural de los glaciares”.**

**Artículo 7º.-**

Agréguese el siguiente Artículo 319 al DFL 1122 de 1981, del Ministerio de Justicia, Código de Aguas:

**“Se establece un plazo de 180 días para se haga una declaración de toda actividad, pública o privada, vinculada o en áreas de glaciares, señalando sus medidas de protección y en el caso que haya intervención, reposición de los daños causados”**

**Artículo 8º.-**

Agréguese el siguiente Artículo 320 al DFL 1122 de 1981, del Ministerio de Justicia, Código de Aguas:

**“Cualquier infracción en lo que atañe a intervención de glaciares será sancionado con una multa de 10 a 500 UTM más los gastos que signifique la reposición del glaciar”**



**Artículo 9º.-**

**Las obras que estén, histórica o actualmente, afectando glaciares, deberán monitorearse y los responsables de ellas efectuar un plan definiendo un plazo de no intervención del glaciar que no superará los 180 días considerando la realización de obras y planes piloto para preservar la reconstitución de los glaciares.**

**ANTONIO HORVATH KISS**

**Senador**

**2.2. INFORME DE LA COMISION DE M. AMBIENTE Y B. NACIONALES DEL SENADO.**

**INFORME DE LA COMISIÓN DE MEDIO AMBIENTE Y BIENES NACIONALES** recaído en el proyecto de ley, en primer trámite constitucional, sobre protección de glaciares.

**BOLETÍN Nº 4.205-12**

---

Honorable Senado:

La Comisión de Medio Ambiente y Bienes Nacionales tiene el honor de informar respecto del proyecto de ley individualizado en el rubro, en primer trámite constitucional, iniciado en una Moción de los Honorables Senadores señores Carlos Bianchi Chelech, Guido Girardi Lavín, Antonio Horvath Kiss, Carlos Ignacio Kuschel Silva y Alejandro Navarro Brain.

Se deja constancia que, en conformidad con el artículo 36, inciso



sexto, del Reglamento del Senado, la Comisión discutió el proyecto en general.

A las sesiones en que se analizó esta iniciativa de ley asistieron, además de sus miembros, los Honorables Senadores señores Carlos Bianchi Chelech, Juan Pablo Letelier Morel, Víctor Pérez Varela y Guillermo Vásquez Ubeda.

En representación del Ejecutivo, concurren: de la Dirección General de Aguas: el Subdirector, señor Carlos Salazar; el Jefe del Departamento de Hidrología, señor Javier Carbona, y el abogado, señor Francisco Puelma.

De la Dirección Meteorológica: el Director, señor Hugo Oliva Haupt, y el Meteorólogo, señor Enrique Garrido.

De CONAMA: la Directora Ejecutiva, señora Ana Lya Uriarte, y el Fiscal, señor Rodrigo Guzmán.

De la Sociedad Nacional de Minería, su Segundo Vicepresidente, señor Alberto Salas Muñoz; su Gerente de Medioambiente, señor Carlos Gajardo Roberts y el Presidente de la Comisión de Medioambiente de esta Sociedad, señor Lorenzo Menéndez Pagliotti.

Del Ministerio de Relaciones Exteriores, la Directora Nacional de Fronteras y Límites del Estado, señora María Teresa Infante y los señores Miguel González y Enrique Poblete.

## **OBJETIVOS DEL PROYECTO**

En lo fundamental, los objetivos del proyecto de ley son los siguientes:

1.- Crear una legislación especial que le otorgue un marco jurídico a los glaciares, los defina y los preserve dentro de este contexto, además de considerarlos como bienes nacionales de uso público, dada su importancia como ecosistemas que incluyen



agua superficial y subterránea constituyendo una reserva de agua dulce para el planeta.

2.- Dirigir y reglamentar la intervención de los glaciares y la ejecución de cualquier tipo de proyectos en ellos, imponiéndose la obligación de monitorear, estudiar y ejecutar las obras que garanticen su protección.

3.- Modificar la ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente con el objeto de exigir que cualquier tipo de intervención a los glaciares se someta al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, por los efectos adversos que podrían generarse sobre estas reservas agua dulce.

- - - - -

Durante la discusión general del proyecto de ley, concurrieron especialmente invitados para exponer sus puntos de vista sobre el mismo:

Los Glaciólogos señores Cedomir Marangunic y Gino Cassasa.

Del Instituto Libertad, el señor José Ignacio Pinochet.

De Codelco, el Director Ambiental, señor Fernando Toledo; el Gerente de Desarrollo Sustentable, señor Santiago Torres; la Jefa de Proyectos, señora Sandra Guijarro; el Director, señor Hugo Oliva Haupt; el Metereólogo, señor Enrique Garrido; la Supervisora Gerencia Sustentabilidad, Gestión Ambiente y Territorio, señora Pamela Samamé, y el Director de Ambiente y Territorio, señor Eduardo Astorga.

Del Centro de Estudios Científicos, el Doctor en Glaciología, señor Andrés Rivera y la Investigadora señorita Francisca Bown.

De Chile Sustentable, la Directora, señora Sara Larraín.

De Anglo American Chile, el Vicepresidente de Marketing y Asuntos Corporativos,



señor Felipe Purcell; el Gerente de Medio Ambiente, señor Fernando Valenzuela, y el Gerente de Asuntos Externos, señor Marcelo Esquivel.

De Econorte: la señora Michaela Heisig.

El abogado ambientalista: señor Alex Quevedo.

El abogado consultor de UICN: señor Lorenzo Soto.

## **ANTECEDENTES**

### **A.- ANTECEDENTES JURÍDICOS**

a) Los numerales 8 y 24, del artículo 19, de la Carta Fundamental, que consagran por una parte, el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación y, por otra, el derecho de propiedad, en especial su inciso segundo, que autoriza a la ley para establecer las limitaciones y obligaciones al derecho de propiedad que deriven de su función social.

b) La ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente

c) El decreto supremo N° 30 de 1997, de la Secretaría General de la Presidencia que contiene el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental.

### **B.- ANTECEDENTES DE HECHO**

En la Moción se expone que el término “Chili” en aymará significa confín helado, lo que demuestra que ya desde los pueblos originarios nuestro país fue asociado con cordilleras, nieves, glaciares y temperaturas más bajas.

Luego, se explica que los glaciares son ecosistemas que incluyen





agua superficial o subterránea, congelada en su mayoría y están formados por los restos de la gran cobertura de hielo que se extendió sobre una buena parte de las latitudes altas y en las zonas de altura de la Tierra durante las últimas glaciaciones del cuaternario. Se acota que se trata de formaciones de hielo permanente que pasan de una estación a otra y tienen una gran importancia como agentes erosivos de primer orden, constituyendo una gran reserva de agua dulce del planeta.

De acuerdo a los antecedentes entregados en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sustentable, celebrada en 2002, en Johannesburgo, Sudáfrica, se indica que aunque el 70% de la superficie de la Tierra está cubierta por agua, solamente el 2.5% del agua disponible es dulce, mientras que el resto, equivalente al 97.5% es agua salada. En consecuencia, se sostiene que casi el 70% del agua dulce está congelada en los glaciares, y la mayor parte del resto se presenta como humedad en el suelo, o yace en las profundas capas acuíferas subterráneas inaccesibles. En efecto, se concluye que menos del 1% de los recursos de agua dulce del mundo están disponibles para el consumo humano.

Añade que la misma información señala que aproximadamente 1.100 millones de personas, es decir, el 18% de la población mundial, no tienen acceso a fuentes seguras de agua potable y más de 2.400 millones de personas carecen de saneamiento adecuado. Se destaca que en los países en desarrollo, más de 2.200 millones de personas, la mayoría de ellos niños, mueren cada año a causa de enfermedades asociadas con la falta de acceso al agua potable, saneamiento inadecuado e insalubridad. Además, se comenta que gran parte de las personas que viven en los países en desarrollo sufren de enfermedades causadas directa o indirectamente por el consumo de agua o alimentos contaminados o por organismos portadores de enfermedades que se reproducen en el agua. Acto seguido, se indica que con un suministro adecuado de agua potable y de saneamiento, la incidencia de contraer algunas de estas enfermedades y consiguientemente la muerte se podrían reducir hasta en un 75%.

Al mismo tiempo, se pone de manifiesto que las áreas de escasez y de demanda de agua van en aumento, especialmente en el norte de África y en Asia occidental. Durante las próximas dos décadas, prosigue, el mundo necesitará de un 17% más de agua para cultivar



alimentos para las crecientes poblaciones de los países en desarrollo y el consumo total del agua aumentará en un 40%. Se acota que la tercera parte de los países en regiones con gran demanda de agua podrían enfrentar escasez severa de agua en este siglo, y para el año 2025, prevé que dos tercios de la población mundial probablemente vivirá en países con escasez moderada o severa.

Luego, trae a colación el trabajo sobre el Inventario de Glaciares en Chile, publicado por el Laboratorio de Glaciología, del Centro de Estudios Científicos y la Universidad de Chile y se indica que en Chile se han inventariado, hasta el año 2002, 1.751 glaciares con una superficie de 15.260 km<sup>2</sup> de hielo y se estima, además, una superficie no inventariada de 5.315 km<sup>2</sup> de hielo, lo que totaliza para el país una superficie cubierta de glaciares de 20.575 km<sup>2</sup>.

Durante la última era glaciár, se precisa que los glaciares llegaron a cubrir más del 30% de la superficie terrestre, lo cual actualmente ha disminuido hasta un 10% por causa del calentamiento global. Añade que los registros muestran que los glaciares en la Cordillera Blanca (Ancash, Perú) se han ido reduciendo desde 1970 conllevando a una disminución del área en un 75% durante un período de 25 años con impactos significantes sobre la disponibilidad de agua y aumento de probabilidades de deslaves así como de avalanchas de hielo. También, se indica que más de 20 eventos catastróficos de inundaciones han sido registrados desde el comienzo del siglo XVIII, destruyéndose así numerosos asentamientos humanos.

Asimismo, se sostiene que en el caso del sur de Asia y China, según estudios científicos el 40% de las personas podrían sufrir escasez de agua en los próximos 50 años, en la medida que el calentamiento global derrita los glaciares del Himalaya, principal fuente acuífera de la región.

Se señala que los glaciares proporcionan unos 8,6 millones de metros cúbicos al año a los ríos asiáticos, incluidos el Yangtse y el río Amarillo de China, el Ganges en La India, el Indo en Pakistán, el Brahmaputra en Bangladesh y el Irrawaddy en Birmania. Sin embargo, se añade que a medida que el calentamiento global aumenta, los



glaciares se reducen con rapidez, con temperaturas medias que se incrementaron en un grado centígrado desde la década de 1970.

A mayor abundamiento, se trae a colación un informe del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) del año 2005, el cual señaló que un tercio de los glaciares del mundo podrían desaparecer hacia el año 2050, por efectos del cambio climático y el incremento de la agricultura de montaña. Se enfatiza que los expertos están preocupados, pues aproximadamente un 67% de los casi 34.000 kilómetros cuadrados de glaciares están retrocediendo y a largo plazo, a medida que el hielo disminuya, el flujo de los ríos caería, llevando a una grave escasez de agua en la región. El glaciar Gangotri, donde nace el Ganges, disminuye su tamaño en 23 metros al año.

En el caso de Chile, se cita un estudio de la Universidad de Santiago, en el que se expone que si bien los ecosistemas polares se conservan todavía relativamente intactos cuando se les compara con otros, su condición —alguna vez prístina— ya está mostrando los signos del cambio climático y otras presiones. Luego, se aclara que los efectos del cambio climático en las regiones polares son mayores que en cualquier otro punto de la Tierra.

Asimismo, se precisa que todavía no está claro si el adelgazamiento del hielo que se ha notado en ciertas áreas es parte de una variación climática natural o consecuencia de la actividad humana; tampoco queda claro si la masa total de las placas de hielo polar está aumentando, disminuyendo o fluctuando dentro de parámetros normales. Pero, se acota que las regiones polares proporcionan una evidencia amplia de calentamiento, a través de los núcleos de hielo y la retirada de los glaciares.

Por otra parte, se alude a unos informes de la NASA del año 2005 que revelan que los glaciares se están derritiendo más rápido de lo previsto, lo que ha provocado que en los últimos 50 años el nivel del mar ha aumentado a un ritmo estimado de 1,8 centímetros por año. No obstante, se comenta que en los últimos doce años este ritmo parece haber aumentado a 3 centímetros por año. Se destaca que casi la mitad de esta subida era atribuida hasta ahora a la expansión del agua de los océanos, debido al aumento



de la temperatura, según Steve Nerem, del Centro de Investigación Astrodinámica de Colorado.

Posteriormente, se precisa que con las nuevas tecnologías satelitales de que dispone la NASA se ha podido determinar que la principal causa de este aumento del nivel de los océanos se debe al incremento de los deshielos. Agrega que las evidencias señalan que el nivel del mar sube y baja cuando el hielo sobre la tierra crece o disminuye. Con las nuevas medidas ahora disponibles, continúa, es posible determinar el ritmo al que el hielo está creciendo y disminuyendo. Se estima que más de 100 millones de personas que viven desde el Delta del Mississippi hasta las islas Maldivas y en multitud de zonas costeras alrededor de todo el mundo se verán afectadas por un incremento de un metro en el nivel del mar, según señala Waleed Abdalati, responsable del Programa de Criósfera (regiones cubiertas por nieve o hielo) del Centro Goddard de Vuelos Espaciales de la NASA.

Luego, se alude a la Constitución Política de la República, la que se preocupa especialmente de la preservación de la naturaleza y del derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, garantizando en el numeral 8° de su artículo 19 el derecho de todas las personas a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, a la vez que se impone al Estado el deber de velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza. Asimismo, se indica que se faculta al legislador para establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente.

Se cita a la garantía constitucional del derecho de propiedad, consagrado en el numeral 24 del artículo 19 de la Carta Fundamental, en especial su inciso segundo, que autoriza expresamente a la ley para establecer las limitaciones y obligaciones al derecho de propiedad que deriven de su función social, precisando que dicha función social comprende, entre otros factores, las exigencias de la conservación del patrimonio ambiental.

Asimismo, se alude a la jurisprudencia de los Tribunales



Superiores de Justicia, los que han señalado que el “medio ambiente”, el “patrimonio ambiental”, la “preservación de la naturaleza” de que habla la Constitución Política de la República y que ella asegura y protege, es todo lo que naturalmente nos rodea y que permite el desarrollo de la vida y tanto se refiere a la atmósfera como a la tierra y sus aguas, a la flora y fauna, todo lo cual conforma la naturaleza con sus sistemas ecológicos de equilibrio entre los organismos y el medio en que viven.

En consecuencia, se deja de manifiesto de que es indudable que se debe valorar y proteger a los glaciares, como ecosistemas que forman parte fundamental del entorno natural de nuestro país y que representan una de las más importantes reservas de agua dulce para la humanidad. De este modo, se enfatiza que el legislador, en cumplimiento del deber que le impone la Constitución Política de la República de velar por el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación debe tutelar la preservación de la naturaleza.

En base a los antecedentes expuestos, se propone una legislación especial que, junto con valorar y resguardar la preservación de los glaciares, como ecosistemas que incluyen agua superficial o subterránea que constituyen una gran reserva de agua dulce del planeta, prohíba la intervención y la ejecución de cualquier tipo de proyectos en ellos, e imponga la obligación de monitorear estudiar y ejecutar las obras que garanticen la protección de los glaciares, en aquellos proyectos que se desarrollen en sus inmediaciones o en su área de influencia. En cuanto a las obras que por algún motivo estén afectando glaciares, se señala que la ley establecerá cómo deberán monitorearse, efectuando un plan que defina un plazo de no intervención del glaciar y la realización de obras y planes piloto para reconstituir los glaciares en la medida y donde sea posible.

Finalmente, se destaca el aporte científico que han hecho al conocimiento de los glaciares, en Chile, los siguientes glaciólogos: John Mercer, Luis Lliboutry, Cedomir Marangunic y Gino Cassasa; el geógrafo Andrés Rivera; el geólogo Juan Brügger; el Ingeniero Hidráulico Ludwig Stowas; los expedicionarios como Federico Reichert, Alfredo Kölliker, Alberto María de Agostini, Harold W. Tilman, Jorge Peterek, Geoffrey Blatt, Eric Shipton, Claudio Lucero, Eduardo García, Chotaro Nakasima, H. Sakagami, Toshio



Takeuchi, Takeo Tsusuki, Takeo Yoshizawa, Pedro Svarca, Ferry Mc Sweeney, Jacquetta Smith, Boirin, Prudhomme, Etienne, Mardal, Roger henon, Marc Rocquefere, Jean Louis Hourcadette, Berbard Doliguez, Casimiro Ferrari, Giuliano Maseri, Arved Fuchs, Pablo Besser, Rodrigo Fica, Jorge Crossley, José Pedro Montt, entre otros.

- - - - -

## **DISCUSIÓN GENERAL**

Durante la discusión general del proyecto, la Comisión escuchó a representantes de diversas entidades vinculadas a la materia en estudio.

**El señor Subdirector de la Dirección General de Aguas, señor Carlos Salazar,** señaló que este proyecto de ley establece que las intervenciones a los glaciares corresponden a actividades de carácter muy variado, que cubren diversos sectores. No obstante, sugirió que se incorporen dentro del catálogo de intervenciones a las actividades deportivas, especialmente aquellas que requieren de una alta exigencia como el andinismo, y la remoción o extracción de material de las morrenas.

Luego, se refirió a la condición de los glaciares como sistemas complejos sobre los cuales hay distintos factores o elementos a considerar desde la perspectiva de su protección y valoración. Primero, aludió a su carácter de reserva hídrica y sustento de los caudales de estiaje de muchas cuencas. Después, hizo referencia al conjunto de cuerpos sólidos que conforman al glaciar, los cuales poseen una dinámica propia que pueden ser afectados por fenómenos naturales de carácter tectónico, sísmico o acciones antrópicas, que pueden alterar su estabilidad o equilibrio.

De lo anterior, coligió que los glaciares no sólo deben ser abordados como parte del ciclo hidrológico en cuanto a su seguimiento, monitoreo, evaluación o investigación. En este sentido, acotó que los glaciares deben ser valorados y protegidos dentro del contexto de todos los recursos naturales.



En relación con la autorización para intervenir glaciares, comentó que considera excesivo que la norma regule tan detalladamente dicha autorización, recomendado que este detalle sea incorporado dentro de un reglamento. También, precisó que dichas autorizaciones requieren de un análisis acumulativo, más que casuístico, lo que implica que el trabajo de caracterización para cada actividad debe contar con criterios técnicos previamente definidos.

Por otra parte, trajo a colación los derechos constituidos a favor de terceros, como por ejemplo los derechos de aprovechamientos de aguas y expuso que respecto de ellos existe una suerte de indefinición, porque el Código de Aguas no contempla una acción para una sobreposición de derechos y el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental tampoco se hace cargo de esta situación. Por tal motivo, sugirió que este proyecto de ley establezca un término de seis meses, con el objeto de que un grupo de técnicos constate o no la existencia de derechos constituidos a favor de terceros.

Asimismo, propuso compatibilizar el artículo 2° letras a) y b) con los artículos 6° y 9° del texto del proyecto de ley, que establecen, por una parte, la prohibición de intervenir de los glaciares y, por otra, la regulación de su intervención.

Por último, sugirió distinguir en forma más precisa la recuperación y reconstitución de los glaciares como medidas de mitigación.

Por su parte, el **glaciólogo señor Cedomir Marangunic** expuso que los glaciares son grandes masas de hielo, con o sin agua intersticial, de límites bien establecidos, originados sobre la tierra por metamorfismo de acumulaciones de nieve que se desplazan lentamente. Luego, comentó que existen principalmente tres tipos de glaciares: los glaciares blancos, los glaciares de transición y los de roca.

Enseguida, señaló que en Chile continental existen todos los tipos de glaciares, excepto las sábanas de hielo que se encuentran en la Antártica. Agregó que en el sur del país se encuentran principalmente glaciares blancos y en el norte predominan los glaciares de roca.



Posteriormente, explicó que los glaciares poseen una zona de alimentación y otra de ablación, separadas por una línea imaginaria de equilibrio de masas. Añadió que la zona de alimentación gana masa con las precipitaciones nivales y que la zona de ablación pierde masa con los fenómenos de fusión, sublimación, erosión eólica, entre otros. Acto seguido, explicó que el frente del glaciar es estable cuando gana y pierde la misma cantidad de masa de nieve. En caso contrario, precisó que el frente del glaciar avanzará o retrocederá, modificando el perfil de su superficie.

A continuación, expuso que los glaciares son fuentes y reservas de agua dulce de Chile y del planeta, sobre todo en las regiones áridas o semiáridas. Adicionalmente, indicó que los glaciares ayudan a la regulación de los caudales, reduciendo las crecidas de deshielo y manteniendo aportes significativos de recursos hídricos durante la época estival más seca o durante años secos. También, arguyó que los glaciares blancos tienen un innegable valor estético, paisajístico y turístico. Por lo anterior, precisó que todos los glaciares son un preciado bien público, que al igual que en la mayoría de los países, no tienen una regulación jurídica definida.

Por otra parte, indicó que los glaciares blancos están experimentando una reducción de sus masas producto de los cambios climáticos globales que se están produciendo en el planeta. Estos cambios, prosiguió, se han originado principalmente por la contaminación atmosférica y el efecto invernadero.

Luego, hizo referencia a la intervención directa sobre los glaciares, derivadas de las actividades mineras y de la industria energética. Acotó que estas intervenciones se han materializado en: pequeñas remociones de masas de hielo, remociones completas o el depósito de pequeñas cargas de lastre. Acto seguido, indicó que la percepción de la población respecto a la intervención de los glaciares ha ido modificándose hacia la tendencia de protegerlos y de regular su extracción.

Con respecto a la legislación nacional, indicó que no existe una institución estatal que tenga competencias explícitas y específicas orientadas a la protección o manejo de los





glaciares. No obstante, comentó que existen algunas entidades que podrían tener alguna injerencia sobre los mismos, como: CONAMA, el Ministerio de Obras Públicas, la Dirección General de Aguas, el Servicio Agrícola Ganadero y la Corporación Nacional Forestal. Luego, precisó que todas estas entidades tienen competencia sobre los recursos hídricos y el patrimonio natural. Sin embargo, agregó que se trata de una normativa implícita y muy disgregada y que emana de visiones y funciones sectoriales, no comunes a una sola institución.

Por otra parte, expuso que falta un organismo que fiscalice la utilización o el manejo de estas masas de hielo. Asimismo, sostuvo que debe regularse su dominio y utilización. Hizo hincapié sobre el problema de determinar la titularidad del derecho de dominio constituido sobre los glaciares y comentó que éstos si bien descansan sobre un terreno determinado, no forman parte de él, porque no están adheridos en forma permanente al suelo, de manera tal que, en principio, no pertenecen al dueño de la propiedad en que se encuentran emplazados.

Continuó señalando que los glaciares como fuentes de agua, al ser intervenidos pueden afectar la calidad y/o cantidad del afluente que deriva del glaciar, alterándose así a las aguas, contempladas como un bien nacional de uso público, según lo dispuesto en el artículo 5° del Código de Aguas.

En consecuencia, sostuvo que es evidente que existe una necesidad de legislar a nivel nacional sobre los glaciares, blancos y de roca, de manera que se establezca su dominio, se regularice su uso y manejo y se definan los servicios del Estado que se encargarán de supervisar y fiscalizar las intervenciones sobre los mismos.

Por otra parte, indicó que Chile suscribió la Convención sobre los Humedales, firmada en Ramsar, en el año 1971, en la cual se reconoce como una especie de humedal a los humedales alpinos o de montaña, que se originan a partir del deshielo de nieve. Añadió que en la 9ª Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención de los Humedales, realizada en el año 2005, se elaboró un documento sobre “Estrategia Regional de Conservación y Uso Sustentable de los Humedales Altoandinos”, también suscrito y



aprobado por Chile. En este documento, comentó que se incluyen expresamente a los glaciares como un tipo de humedal, por ser considerados como fuentes de agua.

Posteriormente, trajo a colación la Convención Alpina de 1991, suscrita por los países europeos cuyos territorios incluyen regiones alpinas, con el objeto de asegurar una política global de protección y desarrollo sostenible del espacio alpino. También, citó al Protocolo para el Agua, del año 2003, en el cual se señaló que debe protegerse al agua en todas sus formas -líquida, sólidas y gaseosas-, contemplándose así a la nieve y al hielo como una forma de agua.

A continuación, arguyó que la intervención de los glaciares no debe ser prohibida “a priori”, pero sí debe ser estrictamente reglamentada y controlada, porque afecta directamente a las fuentes y reservas de agua y, además, porque su intervención puede originar eventos catastróficos, como grandes deslizamientos. Agregó que esta intervención debe ir acompañada de la implementación de nueva tecnología capaz de generar nuevos glaciares o nuevas fuentes de recursos hídricos.

En relación con el proyecto de ley en estudio, indicó que le parece indispensable que se dicte una normativa que proteja a los glaciares, especialmente en un país como Chile donde los glaciares y, en general, los recursos hídricos son un importante recurso natural.

Enseguida, planteó que este proyecto de ley debe incluir una norma que regule el dominio de los glaciares. También, sugirió que debe reglamentar una intervención adecuada de este recurso, fijando explícitamente los requisitos que se deben cumplir para autorizar dicha intervención.

En cuanto a las compensaciones, sugirió que se establezca la alternativa de crear nuevos glaciares. Asimismo, propuso que en la norma se individualice al órgano estatal responsable del control, monitoreo y protección de glaciares, independientemente del rol que corresponde a CONAMA como organismo regulador.

Por otra parte, planteó en el artículo 1º, inciso segundo del texto del proyecto de ley,



reemplazar el término “glaciar de pié de monte” por “glaciar de desagüe”, agregar el término “glaciarete o campo de nieve” y suprimir el término “banquisa o”, con el objeto de hacer concordante esta clasificación de glaciares con la nomenclatura recomendada por la UNESCO.

Al mismo tiempo, propuso en el artículo 2º, letra f), reemplazar la referencia que se hace a la fuente de polvo u otro contaminante industrial por la siguiente: “Fuente de polvo u otro contaminante industrial, distante a menos de 2 km de un glaciar, o que deposite o acumule en la superficie del glaciar, a corto y largo plazo, más de 2 gramos por metro cuadrado de material particulado”. En esta misma letra, sugirió agregar un nuevo apartado, cuyo texto es el siguiente: “Embalse de aguas u otros materiales que, en la misma cuenca hidrológica disten menos de 1 km del margen de un glaciar”.

También, planteó suprimir el artículo 6º, porque según él es incongruente con el artículo 2º, ya que en uno, bajo ciertas condiciones se permite intervenir los glaciares, en tanto que en el otro, se prohíbe absolutamente. Asimismo, propone reemplazar el artículo 9º inciso final por el siguiente inciso: “Cualquier actividad que realice intervención en un glaciar según el numeral f) del artículo 2º, en un plazo de 500 días debe presentar un estudio de Línea Base del glaciar y de daños causados al glaciar, y un programa de compensación de daños, en el mismo glaciar, en un nuevo glaciar a generar, o en otro de la micro-cuenca hidrológica. La micro-cuenca se define como una cuenca pequeña que contiene solo un cauce principal, pudiendo tener uno secundario”.

A continuación, el **Honorable Senador señor Horvath** consultó sobre el sistema de monitoreo de los glaciares existentes en el país.

Por su parte, el **Honorable Senador señor Allamand**, en relación con el artículo 1º del texto del proyecto de ley comentó que no es adecuado que una norma sea tan descriptiva al momento de conceptualizar. De este modo, propuso purificar este artículo, eliminando todos los elementos que sean ajenos al ámbito jurídico.

Acto seguido, consultó sobre la titularidad del derecho de dominio sobre los glaciares



existentes en Chile y sobre los alcances del artículo 5° del texto propuesto.

El **glaciólogo** señaló que técnicamente es más adecuado establecer un concepto amplio de glaciares para así comprender todos los tipos y asimismo sugirió a la Comisión escuchar la opinión de la División Andina de Codelco y de otras empresas mineras.

El **Honorable Senador señor Letelier** solicitó al Subdirector de la Dirección General de Aguas el catastro nacional de los glaciares y consultó cuántos de ellos han sido intervenidos.

Enseguida, el **señor Subdirector de la Dirección General de Aguas** respondió que existen un total de 647 glaciares, de los cuales sólo 14 han sido intervenidos.

En relación con el problema del dominio de los glaciares, el **señor Abogado de la Dirección General de Aguas** indicó que éste es un problema no resuelto. También comentó que este proyecto de ley debe definir la autoridad que tendrá la tuición de los glaciares.

Asumiendo esta inquietud, el **Honorable Senador señor Horvath** solicitó al Ejecutivo que defina la autoridad que deberá velar por la protección y monitoreo de los glaciares.

El **señor Subdirector de la Dirección de Meteorología de Chile** señaló que la Dirección que representa tiene las siguientes misiones: entregar información meteorológica básica y procesada para las diferentes actividades socioeconómicas, desarrollar la investigación meteorológica y administrar el Banco Nacional de Datos Meteorológicos.

Luego, aclaró que esta Dirección no tiene una función específica de monitoreo ni estudio de glaciares, quedando esta función en manos de organismos especializados a los cuales la Dirección les facilita información meteorológica y climatológica histórica. En consecuencia, destacó que la experiencia de la Dirección Meteorológica en el tema de los glaciares es limitada.



Por otra parte, comentó que la Dirección Meteorológica a través de su Departamento de Climatología y Meteorología Aplicada, ha desarrollado una permanente labor relacionada con el estudio del cambio climático. Al respecto, señaló que su esfuerzo se ha orientado a estudiar principalmente las variables atmosféricas que intervienen en el cambio climático, especialmente la precipitación y la temperatura. Añadió que los resultados de estos estudios pueden constituir una base de conocimiento para los expertos en materia de glaciares, porque permiten complementar el conocimiento de estos ecosistemas.

En relación, a este proyecto de ley propuso agregar al final del artículo 5° la siguiente frase: “y del Sistema Climático”. Asimismo, acotó que percibe una suerte de contradicción entre el artículo 6° que prohíbe intervenir los glaciares y el artículo 2° que autoriza su intervención.

Enseguida, el **Gerente Corporativo de Desarrollo Sustentable de Codelco, señor Santiago Torres**, señaló que los glaciares son masas de hielo, de límites bien establecidos y que fluyen lentamente deformándose bajo el influjo de la gravedad. Agregó que los glaciares de roca a diferencia de los glaciares blancos poseen una cubierta prácticamente total de detritos rocosos. Prosiguió, indicando que estos detritos provienen de partículas rocosas depositadas, principalmente, por las avalanchas de nieve, que ejercen una acción protectora sobre el glaciar, al blindarlos parcialmente de los efectos climáticos negativos.

A continuación, comentó que la gran mayoría de los glaciares de roca en la cordillera chilena se encuentran en equilibrio, lo que implica que no se ha reducido su área, volumen ni espesor. Acotó que los glaciares en equilibrio, no aportan agua a las cuencas hidrográficas, solo ayudan a uniformar los caudales. De este modo, arguyó que los glaciares de roca son una fuente de reserva de recursos hídricos.

Acto seguido, se refirió a las operaciones de la División Andina de Codelco, empresa que desde 1970 explota el yacimiento cuprífero de río Blanco, ubicado en la cordillera de Los Andes en la V región. Agregó que se trata de una explotación



subterránea y que actualmente se procesan mediante flotación convencional alrededor de 72.000 toneladas por día, manteniendo una producción de concentrado de cobre en torno a las 750 mil toneladas al año, de las cuales 250 mil toneladas corresponden a cobre fino.

Luego, señaló que la intervención a los glaciares de roca producto de las operaciones mineras de División Andina, se ha centrado en la excavación y traslado del material dentro de la misma cuenca y en localizar material estéril de la mina. Destacó que glaciares blancos que existen en el sector no han sido afectados por las operaciones mineras de la División Andina de Codelco.

A continuación, el **señor Director de Medio Ambiente de Codelco, señor Eduardo Astorga**, expuso que en el año 1998 la empresa realizó un estudio de los glaciares de roca en el tajo Sur de la cuenca del río Blanco, que sirvió de base para la remoción del material de botadero y del glaciar de roca, con el propósito de reducir las velocidades de desplazamiento y permitir la extracción minera. Posteriormente, indicó que en el año 2001 se realizó un nuevo estudio sobre la morfología del glaciar, el relleno de los perfiles gravimétricos y las avalanchas.

En el año 2005, prosiguió, se encargó otro estudio a destacados expertos internacionales, con el objeto de revisar todos los antecedentes y monitoreos realizados en los últimos 30 años. Añadió que a partir de este estudio se concluyó que todos los glaciares blancos han sufrido reducciones de sus áreas y espesores, en cambio los glaciares de roca se han mantenido en equilibrio. No obstante, comentó que también se dedujo que se han modificado algunos glaciares por remoción y carga con botaderos, lo que ha incidido en su aporte hídrico a la cuenca del río Blanco, aumentando su aporte en 4,08 litros por segundo. Luego, indicó que este año se está realizando un nuevo estudio orientado a actualizar la línea base de los glaciares, confeccionada el año 2005.

Asimismo, señaló que la empresa está desarrollando un proyecto de ampliación a 92 KTPD para el año 2008, que permitirá maximizar la capacidad de los sistemas existentes. Sostuvo que este proyecto implicará una leve intervención a los glaciares de roca, con un efecto marginal en términos hídricos. Agregó que el proyecto busca



optimizar la operación actual, para compensar las bajas previstas en la ley del mineral y mantener la producción actual de cobre fino.

Por otra parte, se refirió a las obras de manejo de los drenajes, las cuales se ejecutarán mediante el proyecto “Despacho de Drenajes de Botaderos para Utilización Externa”, que cuenta con una resolución positiva de calificación ambiental desde el año 2004. Ante todo, observó que este proyecto tiene por objetivo mejorar la calidad de las aguas del río Blanco y precisó que las obras consisten en enviar los drenajes a través de un ducto-sifón hacia las instalaciones de la Minera Sur Andes, en donde son sometidos a un tratamiento en las plantas existentes de extracción por solventes y electro-obtención.

Dadas estas circunstancias, arguyó que la División Andina está en óptimas condiciones para cumplir con las normas de emisión vigentes y la calidad proyectada para el río Blanco. Bajo este contexto, destacó que la política de transparencia de la empresa ha facilitado la fiscalización de las autoridades competentes de las operaciones que desarrolla y ejecuta la División Andina de Codelco.

A continuación, el **señor Gerente Corporativo de Desarrollo Sustentable de Codelco** señaló que esta empresa ha generado un conjunto de conocimientos sobre el comportamiento y manejo operacional de los glaciares de roca, lo que ha permitido obtener información científica relevante, que colocan a disposición de la autoridad con el objetivo de apoyar la investigación y acciones de regulación de los glaciares.

Enseguida, sostuvo que en esta materia cree que es necesario contar con un marco regulatorio que establezca una mínima o nula intervención de los glaciares blancos, distinguiendo entre las zonas de ablación y de alimentación y que permita la intervención de los glaciares de roca en forma reglada, informada, correctamente evaluada y compensada y/o mitigada.

Acto seguido, agregó que la intervención de glaciares y su eventual impacto hace indispensable incorporar en la legislación un conjunto de criterios y mecanismos fundamentales que faciliten la posterior reglamentación de las mitigaciones,



remediaciones o compensaciones asociadas a dichos impactos, como pueden ser las acciones de regeneración de los glaciares.

Por último, enfatizó que deben potenciarse las capacidades institucionales para desarrollar los procesos de revisión, aprobación o rechazo y la fiscalización de las condiciones y compromisos asociados a las intervenciones autorizadas de los glaciares.

Posteriormente, el **Honorable Senador señor Horvath** consultó si es posible extraer cobre sin la intervención de los glaciares.

El **señor Director de Medio Ambiente de Codelco** respondió que en el caso de la División Andina la extracción del mineral se hace mediante la intervención de los glaciares por un tema de costos asociados a la explotación y para evitar bajar la ley del mineral extraído.

Por su parte, el **Honorable Senador señor Vásquez** consultó sobre otras empresas que intervienen glaciares.

El **señor Director de Medio Ambiente de Codelco** nombró a Anglo American y a Pelambres, entre otras.

El **Honorable Senador señor Allamand** solicitó la opinión de los representantes de la División Andina de Codelco sobre el dominio de los glaciares.

El **señor Director de Medio Ambiente de Codelco** respondió que indudablemente son parte del patrimonio ambiental del país y, como tales, se les puede aplicar el inciso segundo del artículo 19 N° 24 de la Constitución Política de la República.

El **señor Gerente Corporativo de Desarrollo Sustentable de Codelco** añadió que los glaciares se podrían regir por el adagio que lo accesorio sigue la suerte de lo principal. De este modo, arguyó que en este caso se le debería aplicar el





estatuto del agua.

Luego, acotó que únicamente en Italia se ha regulado expresamente su dominio, disponiéndose que se trata de bienes nacionales de uso público.

La **Directora Ejecutiva del Programa de Chile Sustentable, señora Sara Larrain**, señaló que los glaciares son masas de hielo perenne, formada por acumulación de nieve, de distintas dimensiones y formas, que fluyen lentamente. También, explicó que la estructura interna de los glaciares se compone de una zona de ablación y otra de acumulación.

Enseguida, se refirió a la importancia de los glaciares y destacó que constituyen grandes reservas de agua dulce, que ayudan a mantener el balance hídrico y climático de las cuencas, aportan agua a los ríos y lagos y que proveen de estabilidad a los ecosistemas y seguridad en el abastecimiento humano.

En el caso del norte grande, comentó que los glaciares tienen un comportamiento inverso en las épocas de déficit hídrico. De este modo, acotó que son un seguro frente a las sequías, porque cuanto más sequía y menos nieve precipite en el invierno, el glaciar proporcionará mayor cantidad de agua.

En el centro del país, indicó que en el caso del río Maipo, en los períodos de verano o sequía, los glaciares de su cuenca aportan entre un 33% y 67% del caudal.

A continuación, señaló que existen unos 1.751 glaciares catastrados, lo que corresponde a una superficie de unos 16.860 kilómetros cuadrados. Asimismo, acotó que faltan por catastrar unos 5.000 kilómetros cuadrados. Luego, indicó que en el norte grande existen 28 glaciares catastrados, en el norte chico 60 glaciares, en el centro 1.500 glaciares, en el sur 87 glaciares y en la zona austral 76 glaciares.

Sobre el estado actual de los glaciares, trajo a colación un Estudio



Glaciológico de 100 glaciares ubicados entre la III y XII región del año 2000, en el cual se establece que un 87% de los glaciares nacionales están experimentando un proceso de retroceso, un 6% se encuentran en estado de avance y un 7% no presenta cambios significantes.

Luego, expuso que los proyectos mineros han contribuido en la intervención de los glaciares, a través de la construcción de caminos, sondajes de perforación y explosivos y de la misma explotación minera. Citó como ejemplos a las actividades desplegadas por la División Andina de Codelco y la Barrick Gold en Pascua Lama.

Con respecto al uso desmedido de los glaciares, sostuvo que podrían destruirse las reservas hídricas en las zonas áridas o semiáridas, cambiar el balance biofísico de las cuencas y ecosistemas, vulnerar las condiciones climáticas, impactar las economías de subsistencia locales y degradar las condiciones que aseguran la agricultura de exportación en los valles del norte grande y chico.

En consecuencia, acotó que los glaciares deben contar con una adecuada protección legal, porque son fundamentales para el equilibrio hídrico y climático de las cuencas y cualquier alteración significativa de ellos podría provocar graves consecuencias para las cuencas, ecosistemas y economías locales. Arguyó que la destrucción y pérdida de las reservas de agua es irreversible, lo que aún es más grave con el calentamiento global del planeta.

Con respecto al proyecto de ley en estudio, señaló que el artículo 1° debería contener una definición más simple. Sugirió incorporar el concepto que propone Lliboutry, que los define a partir de su estructura física y del servicio que prestan. También, planteó que esta definición debería fijar su naturaleza como bien nacional de uso público, con el objeto de garantizar que se trata de un bien común.

A mayor abundamiento, añadió que los glaciares prestan un servicio ambiental y económico, que obliga a optar por la alternativa de su preservación, con



lo cual es primordial concebirllos como parte del patrimonio medio ambiental, sujeto a las limitaciones del dominio.

En relación con el artículo 2°, planteó enumerar en forma más genérica las actividades humanas que pudieran afectar física o químicamente al glaciar. Dentro de ellas, mencionó a las actividades científicas, turísticas, industriales y de infraestructura. Enseguida, señaló que este listado debe ser más simple, porque su detalle debe dejarse para un reglamento.

Luego, indicó que es fundamental que su intervención se someta al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, concordando con el texto propuesto en el artículo 3° de este proyecto de ley, que exige que las intervenciones a los glaciares que generen efectos adversos sobre los mismos deben presentar un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental.

Por otra parte, agregó que el texto del artículo 5° no es el adecuado, porque permite concebir a los glaciares como bienes susceptibles de apropiación.

Agregó que el texto del artículo 6° propuesto en la Moción debe estar incluido en el artículo 2°, que se refiere a la protección de los glaciares.

Luego, señaló que los artículos 8° y 9° deberían estar contemplados como artículos transitorios. Asimismo, planteó disminuir el plazo que se fija en estos artículos para confeccionar un plan de no intervención, con el fin de promover la reconstitución de los glaciares.

Enseguida, indicó que esta norma debería crear un registro de glaciares, ligado a un sistema de información y actualización. También, planteó que debería establecerse un plan de monitoreo del estado de los glaciares, un sistema adecuado de protección y preservación.

Por otra parte, precisó que falta un artículo que establezca las



responsabilidades institucionales, que determine expresamente el órgano competente para fiscalizar la protección a los glaciares. Por último, propuso a nivel de normas transitorias, se reconozca el catastro actual de los glaciares, oficializándose como el Registro Nacional de los mismos.

A continuación, el **Glaciólogo del Centro de Estudios Científicos de Valdivia, señor Andrés Rivera**, señaló que los glaciares son masas de hielo perenne, formada por acumulación de nieve, cualquiera sean sus dimensiones y formas, que fluyen lentamente por deformación, deslizamiento basal y deslizamiento de sedimentos subglaciales.

Acto seguido, precisó que los glaciares muestran constantemente propiedades de flujo, aunque externamente no se evidencie movimiento. Agregó que los glaciares pueden estar cubierto de detritos o presentar un porcentaje importante de detritos en su composición. Existen, prosiguió, una enorme variedad de glaciares que van desde campos de hielo, glaciares de piedmont, glaciares de valle, glaciares en calota, glaciar de montaña, glaciar de circo, glaciarettes, glaciar recubierto y glaciar rocoso, entre otros.

Acotó que existen unos 1.751 glaciares inventariados en Chile, cubriendo un área de 16.861 kilómetros cuadrados y agregó que falta por catastrar un área estimada de 5.200 kilómetros cuadrados. Enseguida, expuso que al menos 100 de los glaciares estudiados experimentan variaciones frontales, cambios de espesor, de velocidades, calving y dinámica del hielo.

Como diagnóstico general de la situación actual de los glaciares, señaló que no hay una legislación adecuada para enfrentar su uso, manejo y conservación. Asimismo, indicó que no existe un monitoreo sistemático de los glaciares y que se requiere más inversión en su investigación.

Luego, sostuvo que en nuestro país existen muy pocos glaciares descubiertos y muchos glaciares recubiertos y rocosos. No obstante, prosiguió hay escasos estudios sobre la materia, prácticamente lo único que se sabe con certeza es que la mayoría de ellos están



experimentando un proceso generalizado de retroceso, adelgazamientos y, por ende, aportando un mayor caudal a los ríos.

Por otra parte, destacó que los glaciares tienen una gran importancia en materia de esorrentía, porque colaboran con los balances de masas de aguas. También, enfatizó su valor económico y medio ambiental, porque ayudan a la generación de energía eléctrica, consumo humano, agrícola, minero y aportan sedimentos para los ríos.

Dentro de los problemas que se plantean en relación con la intervención de los glaciares, mencionó, entre otros: la determinación de la competencia para aprovechar sus recursos, la reducción de su aporte a los caudales futuros, su contaminación por actividades turísticas y forestales, el asentamiento de población en zonas con riesgos potenciales y los efectos de su intervención por explotaciones mineras.

Agregó que la mayoría de los glaciares en Chile presentan balances de masa negativos, retrocesos y pérdidas de área en respuestas a los aumentos de temperatura y a la reducción de las precipitaciones. Al mismo tiempo, acotó que este fuerte retroceso y adelgazamiento se ha acelerado y hasta duplicado en los últimos 10 años.

Finalmente, arguyó que se requiere completar la información de los glaciares, realizar nuevos inventarios, monitorearlos, investigar sus variables y modelar sus comportamientos futuros. Agregó que en la actualidad sólo se han estudiado 100 glaciares, a través de los avistamientos aéreos, pero, acotó, que existe un problema de automatización de los imágenes para medir el espesor de los glaciares, por tal motivo, explicó que hoy se está usando la técnica de los testigos de hielo, que son segmentos verticales de hielo que se extraen del glaciar con el objeto de estudiar su historia y conocer su profundidad. Enseguida, añadió que no existe un monitoreo sistemático de los glaciares, salvo los estudios realizados por la Dirección General de Aguas.

Acto seguido, realizó una descripción general de los diversos glaciares ubicados en las distintas regiones naturales del país e indicó que: en el Norte del país, prácticamente todos los glaciares están intervenidos y en estado de retroceso, debido a las explotaciones



mineras y al aumento de las temperaturas; en el centro, prosiguió, los glaciares han servido para aumentar el caudal de los ríos; en la región de Los Lagos, precisó que los glaciares vinculados a conos volcánicos se encuentran en peligro latente por la posibilidad de erupción; y en la zona de la Patagonia, comentó que existe el mayor número de glaciares, destacando la zona de Campos de Hielos que abarca una extensión de unos 17.000 kilómetros cuadrados.

Posteriormente, sostuvo que los glaciares de la zona de la Patagonia corren el peligro de extinción por el aumento global del mar, los riesgos potenciales por la transformación de éstos en “calving”, el aumento de la temperatura y de las precipitaciones.

En relación al proyecto de ley en estudio, expuso que la definición contenida en el artículo 1° no es la adecuada, porque los glaciares no son ecosistemas, puesto que sólo presentan formas vida de carácter microorgánicas. Luego, precisó que los glaciares deben ser definidos en forma más amplia y general, considerando que se tratan de sistemas formados por masas de hielos en flujo.

Asimismo, planteó que los artículos 2° y 9° son impracticables, porque son excesivamente detallistas y burocráticos, porque gran parte de las actividades que en ellos se enumeran no requieren estar sometidas al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Al mismo tiempo, enfatizó que esta norma debería concentrarse en las actividades indicadas en la letra f) del artículo 2° referida a las actividades industriales.

Por otra parte, arguyó que esta iniciativa legal debe establecer un sistema de monitoreo permanente sobre los glaciares, precisando la entidad que asumirá este rol y su financiamiento.

El **Honorable Senador señor Allamand** consultó cuál es el organismo más indicado para responsabilizarse de su monitoreo y fiscalización.

El **Glaciólogo del Centro de Estudios Científicos de Valdivia** contestó que antiguamente la Dirección General de Aguas asumía esta función. No obstante, expuso que



considera más apropiado que se cree una nueva infraestructura que se encargue de coordinar los datos que proporciona la Dirección General de Aguas.

La **señora Directora Ejecutiva del Programa de Chile Sustentable** precisó que esta iniciativa legal no puede superponerse al Protocolo de Madrid del Tratado Antártico sobre Protección Ambiental que regula esta materia.

Para el caso de Chile continental, agregó que debe establecerse una normativa enfocada hacia la protección de los glaciares. Luego, se refirió al artículo 2° del proyecto de ley y señaló que sería más adecuado formular una enumeración más genérica, dejando el detalle de este listado a un reglamento.

Finalmente, recalcó que debe incentivarse su investigación y en cuanto a su fiscalización, sostuvo, que ésta no puede centralizarse en un sólo organismo. Finalmente, arguyó que es partidaria de crear un órgano mixto que se encargue de monitorearlos y fiscalizarlos.

La **Directora Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, señora Ana Lya Uriarte**, señaló que considera adecuado que una ley especial regule el tema de los glaciares. Acotó que existe otra iniciativa legal sobre esta materia en la Cámara de Diputados, que establece la prohibición de ejecutar proyectos de inversión en glaciares (Boletín N° 3947-12), el cual actualmente se encuentra archivado.

Acto seguido, indicó que este proyecto de ley debería contemplar un órgano de administración que tuviera a su cargo la evaluación y aprobación de los planes y programas asociados a los glaciares, con un procedimiento de fiscalización apropiado al objetivo de protección. Agregó que este proyecto de ley debería establecer los contenidos de los planes y programas, cuyo objetivo central debiera ser fijar acciones de seguimiento y resguardo de los glaciares.

Enseguida, precisó que esta iniciativa legal debería definir claramente los diversos tipos de glaciares que se reconocen, tales como, los glaciares blancos, los de roca,



glaciaretos, entre otros. A su vez, arguyó que se deben fijar claramente si lo protegido serán los cuerpos glaciares, o el área de afectación directa e indirecta en torno a ellos.

En cuanto a la definición contenida en el artículo 1º del presente proyecto de ley, expuso que la considera excesivamente extensa y, por ende, piensa que podría llegar a repercutir en la dimensión práctica de su aplicación. Por otra parte, indicó que debe aclararse si el objeto jurídico a proteger en esta norma es el glaciar en sí mismo o el recurso hídrico del glaciar emplazado en una cuenca determinada

Con respecto al artículo 2º, sugirió introducir un criterio de diferenciación de actividades, teniendo presente que hay actividades, como las turísticas y científicas, que pueden ser tan invasivas como las industriales. Luego, recalcó la importancia de establecer la exigencia de realizar diversos estudios con el objeto de hacerse cargo de los efectos de la intervención de los glaciares, contemplándose medidas de monitoreo fuera del área de influencia de la actividad desplegada.

Acotó que en la letra c) del artículo 2º debería precisarse que la acción a regular es la efectuada en el glaciar mismo. En la letra f), continuó, las primeras tres actividades mencionadas, dada las magnitudes que contienen, excluyen cualquier tipo de proyecto minero, por tal motivo propuso precisar en qué tipo de glaciares se pueden desarrollar estas actividades. Luego, indicó que en la actividad de fuente de polvo u otro contaminante industrial, se debe precisar la forma en que se contabilizará la distancia allí indicada. Asimismo, planteó aclarar el sentido de las letras g) y h) sobre emergencias aéreas e incendios intencionales. Enseguida, propuso modificar o suprimir el artículo 6º del proyecto de ley, porque es contradictorio con el mentado artículo 2º.

Por otra parte, sostuvo que no considera adecuado que en este tipo de actividades se determine a priori la forma de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, porque esto altera la lógica tradicional de operación del sistema. En consecuencia, prevé que no es necesario modificar el artículo 11, letra b) de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente N° 19.300.





Con respecto al régimen de sanciones consagrado en el artículo 7° de la presente iniciativa legal, señaló que éste establece una conducta infraccional en términos muy amplios, no indica el órgano competente para conocer de dicha infracción, ni tampoco señala el procedimiento a seguir para determinar la responsabilidad civil o administrativa. En relación con los gastos para la reposición del glaciar, precisó que ésta es una materia ya regulada en ley N° 19.300, mediante la acción por daño ambiental.

A continuación se refirió al artículo 8° e indicó que adolece de una falta de precisión en cuanto a lo que debe entenderse por glaciares afectados. Asimismo, precisó que la norma debería definir el órgano y el procedimiento por el cual se calificarán a los glaciares bajo esta categoría. También, argumentó que no considera adecuado que este artículo establezca mecanismos que tiendan a suspender las actividades autorizadas sobre los glaciares.

Finalmente, indicó que esta norma debería fijar él o los órganos encargados de velar por el cumplimiento del presente proyecto de ley, tanto desde el punto de vista sancionatorio como administrativo.

A continuación, el **Vicepresidente de Marketing y Asuntos Corporativos de Anglo American Chile, señor Felipe Purcell**, señaló que Anglo American es una de las empresas líderes en el ámbito de la minería y que tiene más de 60 operaciones en todo el mundo. En el caso de Chile, comentó, que comenzó a operar desde el año 1980 y que, actualmente, mantiene cinco divisiones operativas en Los Bronces, Mantos Blancos, Mantoverde, El Soldado y Fundición Chagres, con una producción total de 650.000 toneladas de cobre fino al año. También, indicó que en materia impositiva Anglo American tributó por concepto de impuestos a la renta en el año 2005 unos US\$ 113 m, proyectándose para el año 2006 sobrepasar los US\$ 200 m.

En el caso de Los Bronces, explicó que existe una interacción con dos glaciares de roca, provocada por excavaciones necesarias para alcanzar las zonas mineralizadas, la construcción de caminos y por la descarga de los depósitos estériles, de acuerdo a lo aprobado por Sernageomin. Luego, expuso que según una serie de monitoreos que han efectuado en los glaciares intervenidos, el efecto que han provocado sobre el caudal de sus



aguas varía a lo menos entre 3 a 5 litros por segundos.

Con respecto al presente proyecto de ley, indicó que la postura de la empresa que representa es permitir el desarrollo de la minería y de otras actividades económicas en interacción con glaciares y contribuir con su conocimiento técnico, teórico y práctico.

Enseguida, precisó que es necesario incorporar explícitamente a los glaciares dentro de la legislación nacional, teniendo presente que su intervención facilita parte importante de la minería del país. De este modo, acotó que tanto los glaciares como la minería tienen un valor socialmente relevante, por tal motivo expuso que no es razonable prohibir su intervención, sin antes conocer el potencial minero cuyo desarrollo quedaría impedido.

A continuación, señaló que el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental sería el mecanismo más adecuado para balancear los objetivos económicos y ambientales propuestos respecto de la intervención de glaciares. Agregó que considera muy positivo que se dicte una legislación especial sobre la materia, que considere a los glaciares como bienes ambientales y que incluya su intervención en la Ley de Bases del Medio Ambiente.

Por otra parte, enfatizó que este proyecto de ley no puede establecer efectos retroactivos de la norma en comento, especialmente en el ámbito de las normas que califican el daño medioambiental y respecto de las operaciones mineras que en la actualidad están interviniendo glaciares con autorización de la autoridad.

A su vez, recalcó que la ley debe resguardar la debida consistencia y armonía entre este proyecto de ley y otras leyes de nuestro ordenamiento jurídico, especialmente con la Constitución Política de la República.

Agregó que los glaciares son importantes activos ambientales y, por ende, reconoce la necesidad de explicitar en la normativa actual la regulación de su intervención. De esta manera, arguyó que prohibir su intervención afectaría gravemente a la minería del país y, en particular, a la operación de la División Andina de Los Bronces.



El **Abogado Ambientalista, señor Alex Quevedo**, indicó que los glaciares deben definirse a partir de la naturaleza del bien jurídico que protegen, asumiendo que éstos son bienes nacionales de uso público que pertenecen a todos los habitantes de la nación. Luego, acotó que esta iniciativa legal debe establecer el órgano administrativo que supervigilará los planes de manejo que regirán la intervención de los glaciares. Asimismo, expuso que este proyecto de ley debe ser una norma general y abstracta que regule integralmente esta materia, dejando para un reglamento los detalles de su tratamiento.

Acto seguido, arguyó que debe establecerse como una política general que la intervención de los glaciares sea sometida al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental e indicó que en el artículo 10 las letras a), b), g) h), i), j), o) y p) de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente pueden servir de fundamento legal para someter actualmente la intervención de los glaciares al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. También, trajo a colación los artículos 41 y siguientes de la misma ley que se refiere a los planes de manejo para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, que no están incluidos en el listado de los proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Finalmente, con el fin explicitar la normativa que regule la intervención de los glaciares propuso modificar el artículo 11 letra b) de la ley N° 19.300, agregando la expresión “efectos adversos sobre glaciares” e incorporar en el artículo 6° de su Reglamento los criterios que sean necesarios para determinar cuando la ocupación, modificación o alteración de un glaciar puede provocar efectos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales.

La **Consultora de Econorte, señora Michaela Heisig**, explicó que los glaciares tienen un alto valor hídrico y paisajístico, principalmente porque ayudan a la mantención de los caudales de los ríos en tiempos de estiaje, mantienen las vegas y la biodiversidad y la calidad de las aguas, por tal motivo, arguyó que existe una imperiosa necesidad para legislar sobre su protección, ya que su intervención podría afectar al recurso hídrico en cantidad y calidad, incidiendo directamente en la Biodiversidad.

Luego, señaló que los glaciares son una especie de criósfera, porque incluyen a



cualquier tipo de depósito de hielo, independientemente de su origen o ubicación. Agregó que los glaciares pueden presentar distintas formas como: capas de hielo, cuerpos de hielo menores, permafrost, hielo cubierto, glaciares de roca, u otros depósitos de hielo. Enseguida, mencionó algunas de las ventajas para preservar la criósfera, destacando que ésta permite también proteger a otros cuerpos de hielo; evita la intervención a las morrenas, protege el permafrost; mantiene los caudales y precave grandes problemas de seguridad.

Con respecto al proyecto de ley, opinó que sólo sería pertinente prohibir las actividades industriales enumeradas en la letra f) del artículo 2º. Al mismo tiempo sugirió excluir las letras a) y b) del mismo artículo, con el fin de permitir que las actividades turísticas y científicas puedan desarrollarse sin restricciones, siempre que éstas no involucren grandes intervenciones a un cuerpo glaciar.

Asimismo, propuso agregar en el artículo 11 de la Ley Base del Medio Ambiente las intervenciones a la criósfera como otra actividad que requiere la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental y recomendó simplificar la descripción de las actividades enumeradas en el artículo 2º del proyecto legal en estudio.

Finalmente, enfatizó que debe regularse el dominio de los glaciares y la determinación de un organismo fiscalizador encargado de su protección y preservación.

El **Abogado Consultor de la Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza, señor Lorenzo Soto**, comentó que su exposición se basa en un estudio que la institución que representa efectuó en el año 2005 sobre la situación jurídica y política de la conservación de los glaciares en Sudamérica. Continuó señalando que dentro de los problemas ambientales que afectan a los glaciares se encuentra el retroceso que experimentan por el cambio climático y la contaminación por causas humanas. Añadió que las principales fuentes contaminantes son las intervenciones y remociones por actividades mineras, desarrolladas por la Barrick Gold en la zona de Huasco y por la División Andina de Codelco en el Aconcagua.

Agregó que los glaciares son toda masa de hielo perenne, formada por acumulación



de nieve, cualquiera sean sus dimensiones y formas. En cuanto a su naturaleza jurídica, sostuvo que son bienes nacionales de uso público de carácter inmuebles de propiedad de toda la Nación. Luego, acotó que no existen títulos reglados para conceder su uso o aprovechamiento y que tampoco existe un ente administrador ni una autoridad reguladora para fiscalizar sus intervenciones.

Por otra parte, destacó que a nivel de Derecho Internacional la intervención a los glaciares se regla mediante el Tratado Antártico (1959), el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente (1991), el Tratado con Argentina sobre Medio Ambiente (1991), el Protocolo Específico Adicional sobre Recursos Hídricos compartidos entre la República de Chile y la República Argentina, el Protocolo Específico Adicional sobre Protección del Medio Ambiente Antártico entre la República de Chile y la República Argentina y el Convenio Cambio Climático.

A nivel nacional, indicó que la Constitución en el artículo 19 numeral 8 y artículo 20, inciso segundo, consagra el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación y el deber correlativo del Estado de tutelar la preservación de la naturaleza, junto con la acción de protección ambiental. Agregó que existe una preservación en forma indirecta en el Código de Aguas y en la ley N° 19.300, en lo que se refiere al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Con respecto a las experiencias extranjeras, comentó que prácticamente todos los países latinoamericanos protegen sus glaciares mediante la figura de los Sistemas de Áreas Silvestres Protegidas. En el caso de Colombia y Perú, acotó que, además, son regulados en sus Códigos de Aguas.

En relación con el proyecto de ley, planteó que el concepto de glaciares contenido en el artículo 1° debe ser simplificado. Al mismo tiempo, sugirió eliminar todas las clasificaciones de los glaciares, ya que considera que en nada aportan para efectos de su regulación.

Asimismo, precisó que todas las actividades que incidan sobre los glaciares deben ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Luego, añadió que la autoridad



para autorizar una intervención a un glaciar debe exigir una declaración de intervención, una línea base glacial y un programa de restauración, conservación y monitoreo de glaciares para un plazo determinado.

Agregó que la regulación de los glaciares debe ser integral y no sólo restringirse a regular su uso o intervención. En consecuencia, arguyó que esta normativa debe, también, contemplar normas sobre su conservación y preservación. También, propuso que esta iniciativa legal entregue la tuición de los glaciares a un organismo con competencia en la conservación de los recursos hídricos, como la Dirección General de Aguas.

Con respecto a las sanciones frente a una intervención no autorizada, sostuvo que deben establecerse sanciones de índole administrativo (multas), civiles (reparación económica/ambiental) y penales (delito ecológico).

Por último, sostuvo que los glaciares deben ser regulados y protegidos atendiendo a sus funciones vitales y estratégicas en la conservación de los recursos hídricos, por tal motivo sostuvo que deben ser considerados como un patrimonio natural cuya conservación debe ser de interés nacional. En consecuencia, enfatizó que la intervención a los glaciares debe ser excepcional y sólo autorizada para actividades compatibles con su preservación, como el turismo, actividades recreativas y científicas.

El **Segundo Vicepresidente de la Sociedad Nacional de Minería, señor Alberto Salas**, señaló que el desarrollo minero es el pilar más sólido que sustenta la economía nacional, porque aporta en la actualidad más de un 60% del Producto Interno Bruto (PIB) y es la actividad más competitiva y relevante en el ámbito internacional. Enseguida, destacó que Chile es el primer productor de cobre, nitratos naturales de yodo y litio.

Agregó que el éxito nacional alcanzado en la minería se explica por el gran potencial minero y la sólida capacidad, tradición y cultura minera de sus empresarios y trabajadores.

Dadas estas circunstancias, explicó que al sector minero le preocupan las señales de amenaza que se pudieran imponer a esta actividad, especialmente en materia de uso y goce



de los derechos de aguas ya constituidos que poseen las empresas mineras. Acotó que todas las regulaciones que se aprueben que tiendan a restringir la actividad minera deben estar técnicamente fundadas y tener presente que deben buscar la preservación de la ecología y la economía del país. En este sentido, precisó que estas normas deben tender hacia un equilibrio entre la protección de los recursos naturales y el ejercicio de las actividades económicas.

Bajo este contexto, sostuvo que apoya la regulación de los glaciares y su incorporación en la Ley de Bases del Medio Ambiente y en el Código de Aguas.

A continuación, el **Presidente de la Comisión Ambiental de la Sociedad Nacional de Minería, señor Lorenzo Menéndez**, explicó que los glaciares son masas de reservas de agua, que regulan los flujos de los caudales de los ríos. Añadió que su importancia está determinada básicamente por su ubicación geográfica y por las características de la cuenca en que se ubican.

Por otra parte, destacó la necesidad de dictar una ley especial que regule el manejo de los glaciares. Asimismo, indicó que comparte que los glaciares sean considerados como parte integrante del ciclo hidrológico de las aguas.

Con respecto al proyecto de ley, señaló que los artículos 2° y 6° son contradictorios, porque, el primero, establece la exigencia de someter al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental prácticamente a todas las intervenciones a los glaciares y, el segundo, dispone en forma expresa una prohibición de afectar o depositar elementos extraños sobre los glaciares que puedan alterar su condición natural.

Asimismo, indicó que esta iniciativa legal no especifica volúmenes, ni tipos relevantes de las actividades que afectan a los glaciares. También, manifestó su disconformidad con la norma que consagra un efecto retroactivo al establecer la compensación de los daños generados por la intervención histórica de los glaciares, imponiendo diversas medidas, entre ellas la reconstitución de los mismos.



Acotó que la prohibición absoluta de afectar a los glaciares restringiría severamente la actividad minera en la alta cordillera a lo largo de todo el país. Agregó que los glaciares son otro activo ambiental más y su intervención debe permitirse y regularse de acuerdo al concepto de Desarrollo Sustentable.

Finalmente, aclaró que reconoce la necesidad de rescatar el valor ambiental de los glaciares en la sociedad chilena y, por tal motivo, expuso que apoya la idea de legislar sobre su protección y naturaleza jurídica.

El **Glaciólogo señor Gino Cassasa** señaló que los glaciares son grandes indicadores de los cambios climáticos, porque son muy sensibles a los elementos del clima. Agregó que en la actualidad los glaciares están en retroceso, especialmente los ubicados en la zona norte y central del país.

Enseguida, precisó que existen alrededor de 1.751 glaciares inventariados por la Dirección General de Aguas, abarcando una superficie de 20.500 kilómetros cuadrados. Se refirió, también a la experiencia de monitoreo de los glaciares El Yeso, ubicado en el Cajón del Maipo y El Mocho, emplazado en la zona de Panguipulli. Añadió que por problemas de tecnologías y costos, las técnicas que se emplean en estos monitoreos es bastante básica. El objetivo de estos monitoreo, continuó, es medir la esencia de la masa del glaciar y los caudales que se originan a partir de ese glaciar, a fin de conocer si se están o no alimentando.

Acto seguido, manifestó su preocupación por el estado de los glaciares, porque según los datos aportados, informó que todos presentan un balance negativo, lo que implica que están generando grandes masas de agua, motivado por el aumento de las temperaturas y el calentamiento global de la atmósfera. Luego, expuso que en el caso de Chile han incidido negativamente la corriente de El Niño en la zona central y La Niña en la zona austral.

Posteriormente, indicó que el derretimiento de los glaciares puede aumentar en un 50% el caudal de los ríos de la zona central. También, informó que el volcán Villarrica podría desaparecer en los próximos 100 años, de continuar con su proceso de retroceso. Luego, se





refirió a los glaciares de Campos de Hielo Sur, especialmente a los glaciares O'Higgins y Puerto Edén, que presentan un adelgazamiento aproximado de 15 y 30 metros por años, respectivamente.

Explicó que las variaciones de las precipitaciones y los cambios geotérmicos han alterado los ciclos de retroalimentación de los glaciares, provocando el derretimiento de su superficie, lo que produce el adelgazamiento del glaciar y su consecuente retroceso.

Asimismo, señaló que el adelgazamiento de los glaciares puede aumentar los riesgos de aluviones en las zonas precordilleranas e incrementar los recursos hídricos provisoriamente, corriéndose el peligro de una eventual sequía en los próximos doscientos años.

Luego, informó que existe una iniciativa intergubernamental dirigida por la "United Nations Environment Programme" sobre cambios climáticos, promovida por las Naciones Unidas, cuyo último informe data del año 2001, en el cual se exponen sobre los efectos de los cambios climáticos y su incidencia en el medio ambiente, incluyendo en su análisis el retroceso generalizado de los glaciares del planeta.

Dentro de las actividades antrópicas que han provocado la intervención de glaciares, destacó: la construcción de túneles de drenaje, en el caso de Noruega; la construcción de túneles para turismo en los Alpes; las pistas de aterrizaje de aviones en el Ártico; la remoción de glaciares en el Asia Central; la cobertura artificial de los mismos, en Suiza, y la depositación de material particulado oscuro, en el continente asiático y en Chile.

Con respecto a este proyecto de ley, señaló que apoya una iniciativa de esta naturaleza. No obstante, precisó que los glaciares deben ser conceptualizados teniendo presente que se tratan de masas rocosas metamórficas de carácter renovables.

Posteriormente, se refirió al artículo 2° del texto propuesto e indicó que existe una suerte de contradicción con el artículo 6°, que prohíbe la intervención de los glaciares. De este modo, sugirió aclarar el sentido de la norma. Asimismo, señaló que es innecesario que



las actividades enumeradas en las letras a) y b) de este artículo sean avisadas por la autoridad correspondiente cada vez que se ejerzan. Con respecto a las letras c), d) y e) observó que debe exigírseles sólo aviso a la autoridad y aprobó la exigencia de una Declaración de Impacto Ambiental respecto de las actividades industriales y de remoción de glaciares. Finalmente observó que los plazos fijados en los artículos 8° y 9° del presente proyecto de ley son excesivamente breves, por ende, planteó que deben ser ampliados.

La **Directora de la Dirección de Fronteras y Límites del Ministerio de Relaciones Exteriores, Embajadora María Teresa Infante** expuso que dará su opinión sólo respecto a los temas atinentes a las funciones de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites, que conciernen al Ministerio de Relaciones Exteriores.

Enseguida, indicó que al Ministerio de Relaciones Exteriores le parece que éste es una iniciativa muy valiosa, porque protege bienes de la naturaleza, que no gozan de una especial protección, salvo en cuanto forman parte de un Área Silvestre Protegida.

Dado que este proyecto de ley en sí mismo conduce a la adopción de una ley especial, planteó que se establezca en su preámbulo que los glaciares revisten de un interés científico, ambiental, económico, social y estratégico, por lo cual merecen de una protección jurídica especial.

Luego, manifestó su apoyo respecto a la propuesta de incluir a los glaciares dentro de las actividades que requieren de un Estudio de Impacto Ambiental, incorporándolos en la letra b) del artículo 11 de la ley N° 19.300. Por otra parte, informó este proyecto de ley no modifica las disposiciones contenidas en el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección al Medio Ambiente de 1991.

Con respecto al artículo 1°, arguyó que sería más útil incorporar una definición más breve y directa de los glaciares, que los conceptualice como una masa de hielo perenne, formada por la acumulación, durante varios años, de la nieve debido al excedente entre la nieve caída y la que se derrite, cualquiera que sean sus dimensiones y su forma, y que fluye por su propio peso. Acotó que una definición legal debe ser funcional al fin que pretende la



ley, es decir, en este caso a proteger y regular la actividad del hombre sobre los glaciares. Por otra parte, recomendó eliminar la clasificación primaria de los glaciares que se plantea en el inciso segundo del artículo 1° del texto legal propuesto.

A su vez, planteó que se precise el sentido del término intervención utilizado en el encabezado del artículo 2° del presente proyecto de ley. Acto seguido, sugirió que las actividades que se permitan desarrollar en los glaciares consideren que todas estas actividades deberán ser planificadas y realizadas de tal manera que se limite su impacto perjudicial sobre los recursos hídricos dependientes, especies de flora y fauna, vida silvestre, medio ambiente, y sobre otros usos establecidos o de valor histórico o estético, debiendo someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental todas aquellas actividades que produzcan un impacto sobre dicho sistema. Agregó que todas las actividades industriales deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

En cuanto a las autorizaciones para realizar actividades, sugirió que se distinga entre las derivadas del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental, contempladas en la ley N° 19.300 y su Reglamento, de aquéllas que corresponden por su naturaleza. Preciso, también que se deben considerar las normas que regulan el andinismo, las actividades científicas y técnicas en la zona fronteriza, a modo de ejemplo citó al decreto con fuerza de ley N° 83, del Ministerio de Relaciones Exteriores. Por otra parte, sostuvo que debe exigir a las actividades científicas y técnicas una contraparte efectiva cuando se trate de investigadores residentes en el exterior. Finalmente, respecto a este punto propuso que se exija capacidad para responder con prontitud y eficacia de los accidentes que pudieran causar efectos adversos sobre el medio ambiente.

En materia de monitoreo, indicó que este proyecto de ley debería precisar el organismo competente para monitorear los glaciares y para aplicar las respectivas multas, en caso de infracción. Asimismo, señaló que se debe precisar el organismo encargado de recibir y de transmitir a las demás entidades u organismos involucrados las actividades y declaraciones en materia de impacto ambiental, a fin de no generar excesiva burocracia.

Finalmente, sostuvo que correspondería a Carabineros de Chile u otro organismo



especializado según la materia, verificar que las personas a cargo de las actividades antrópicas sobre los glaciares, dispongan de los medios tecnológicos y procedimientos adecuados para realizar sus operaciones, sin perjudicar al medio ambiente.

-----

**Se hace presente que la Comisión estuvo de acuerdo en aprobar la idea de legislar en la materia, destacando la necesidad de que a través de la vía de las indicaciones del segundo informe, se explicita la naturaleza jurídica de los glaciares y la protección que deberían tener éstos. Asimismo, hubo acuerdo en mejorar la técnica legislativa del proyecto, acotando el contenido de los artículos propuestos.**

**Se reconoció, unánimemente, que existe una necesidad de legislar a nivel nacional sobre los glaciares, blancos y de roca, de manera que se establezca su dominio, se regularice su uso y manejo y se definan los servicios del Estado que se encargarán de supervisar y fiscalizar las intervenciones sobre los mismos.**

**- Sometida a votación la idea de legislar en la materia, se aprobó por la unanimidad de los miembros presentes, Honorables Senadores señores Allamand, Ávila, Horvath y Letelier.**

-----

Como consecuencia de los acuerdos adoptados, vuestra Comisión tiene el honor de proponer a la Sala la aprobación en general del siguiente proyecto de ley:

**PROYECTO DE LEY:**

“Artículo 1º.- Los glaciares son ecosistemas constituidos por grandes masas de hielo, con o sin agua intersticial, de límites bien establecidos, originados



sobre la tierra por metamorfismo a hielo de acumulaciones de nieve, y que fluyen lentamente deformándose bajo el influjo de la gravedad y según la ley de flujo del hielo, y por un lento deslizamiento sobre el lecho basal si el hielo está a 0° C. En las masas de hielo existe una variada cantidad de impurezas, esencialmente de material detrítico, desde virtualmente imperceptible hasta algo más de 20%; el material detrítico es principalmente de origen rocoso, en tamaño desde grandes bloques a finas partículas de arcillas, que caen desde las laderas sobre el glaciar o son llevadas por el viento y se incorporan a las masas de nieve y hielo, y también fragmentos erosionados en la base del glaciar e incorporados al hielo de su base. El detrítico rocoso puede cubrir íntegramente un glaciar. Una parte muy menor del detrítico en los glaciares suele ser orgánico (fragmentos o especímenes enteros) y proviene principalmente del arrastre eólico hasta la superficie del glaciar, donde se incorpora a la masa de hielo. En algunos glaciares existe toda una biodiversidad propia de este ecosistema.

Una clasificación primaria de glaciares distingue las siguientes formas: sabana de hielo continental, campo de hielo, casquete o calota de hielo, glaciar de pie de monte, glaciar de valle, glaciar de montaña, glaciarete, banquisa o plataforma de hielo flotante, y glaciar de roca.

Los glaciares son formaciones de hielo que constituyen una gran reserva de agua dulce del planeta. Son parte constituyente de cada glaciar las lagunas que se encuentran en su superficie.

Artículo 2º.- La intervención de glaciares se clasifica como:

a) Actividad turística en los glaciares, realizada solo a pie o sobre esquíes.

b) Actividad científica en los glaciares, realizada solo a pie o sobre esquíes, con eventual toma de muestras manuales obtenidas de pozos excavados manualmente y hasta de 12 m de profundidad o con taladros activados manualmente, y que no deja o abandona materiales (por ejemplo, estacas de control, puntos topográficos,



elementos de estación meteorológica o fluviométrica, materiales de campamento, diversos otros) en los glaciares.

c) Actividad turística realizadas con el auxilio de medios mecanizados de transporte, tales como moto-toboganes, vehículos sobre orugas o ruedas o cojines de aire, helicópteros, aviones que aterrizan sobre glaciares, y otros.

d) Actividad científica en los glaciares, realizadas con el auxilio de medios mecanizados de transporte, o con obtención de muestras de sondajes mecanizados, o que deja indefinidamente materiales en los glaciares (estacas, señales varias, instrumentos, etc.), o que introduce cualquier tipo de trazadores, en cualquier cantidad, en el glaciar o sus aguas.

e) Actividad científica, turística o industrial que excave un túnel en el glaciar, de más de 10 m de longitud o de más de 2,5 metros de diámetro.

f) Actividades industriales, tales como:

Remoción de masas de hielo o de detrito rocoso superficial del glaciar, en exceso de 50 metros cúbicos.

Carga del glaciar con cualquier tipo de material o estructura, incluyendo carga artificial de nieve o de avalanchas inducidas o dirigidas, en exceso de dos toneladas o de 30 metros cúbicos de material, emplazadas puntualmente y de manera permanente o semi permanente.

Corrida de camino sobre el glaciar, de cualquier longitud y con o sin el empleo de material de estabilizado.

Cobertura total o parcial del glaciar con cualquier tipo de material o colorante.



Drenaje artificial de agua intra-glaciar o sub-glaciar, en cualquier caudal.

Recarga artificial del glaciar con nieve, hielo o agua, en cualquier cantidad.

Fuente de polvo u otro contaminante industrial, distante a menos de 10 km de un glaciar.

Vibraciones inducidas por la actividad industrial, distante a menos de 5 km de un glaciar.

g) Emergencias aéreas en los glaciares.

h) Incendios intencionales, que afectan a los glaciares por depósitos de cenizas.

La intervención de glaciares de los tipos a) y b) solo requiere de avisos a las autoridades correspondientes (Carabineros y Municipalidad) y observar la norma de no dejar desecho alguno en los glaciares.

La intervención de los tipos c), d) y e) debe hacerse previo una Declaración de Impacto Ambiental.

La intervención de tipo f) requiere de un Estudio de Impacto Ambiental.

La intervención de tipo g) debe remediarse removiendo desde el glaciar todos los restos de materiales caídos o depositados en él con motivo de la emergencia o de las acciones de rescate o remedio. Esta remoción debe hacerse previa Declaración de Impacto Ambiental.



La intervención de tipo h) será según lo establezca esta ley, sin perjuicio de lo que señalen otros cuerpos legales.

Los glaciares pueden avanzar lenta y paulatinamente, o rápidamente y de manera esporádica, o bien deslizarse violentamente y de manera catastrófica. El diseño y construcción de instalaciones en la eventual senda de avance o de deslizamiento de un glaciar debe prever esto y evitarlo. En ningún caso pueden realizarse acciones para interferir el avance de un glaciar.

Artículo 3º.- Agrégase la siguiente oración a la letra b) del artículo 11 de la ley N° 19.300 General de Bases del Medio Ambiente, antes del punto y coma (;), reemplazando éstos por una coma (,):

“y efectos adversos sobre glaciares;”

Artículo 4º.- Todo lo que se refiera a glaciares se regirá por una ley especial.

Artículo 5º.- Para todos los efectos de control, monitoreo, catastro, investigación, prevención, valoración y cuidado de los glaciares, éstos se considerarán parte del ciclo hidrológico de las aguas.

Artículo 6º.- Se prohíbe intervenir o depositar elementos extraños que puedan afectar la condición natural de los glaciares.

Artículo 7º.- Cualquier infracción en lo que atañe a intervención de glaciares será sancionado con una multa de 10 a 500 UTM más los gastos que signifique la reposición del glaciar, sin perjuicio de las responsabilidades civiles que se generen, en conformidad a las normas pertinentes del Título III de la ley N°19.300.

Artículo 8º.- Los glaciares que estén, histórica o actualmente,





siendo afectados, deberán monitorearse y los responsables de ellas efectuar un plan definiendo un plazo de no intervención del glaciar que no superará los 180 días considerando la realización de obras y planes piloto para preservar la reconstitución de los glaciares.

Artículo 9º.- Se establece un plazo de 180 días para que toda actividad en área de glaciares, ya sea turística, científica o industrial, incluyendo caminos y carreteras, haga una declaración de intervención de glaciares, según los numerales a) a f) del artículo 2º. Para ello, y sin ser excluyente, debe entenderse como área en la que pueden existir glaciares el territorio nacional:

- a) al Norte de 20º de latitud, por sobre la cota de 4.000 m,
- b) entre los 20º y 25º de latitud, por sobre la cota de 3.600 m,
- c) entre los 25º y 35º grados de latitud, por sobre la cota de 2.500 m,
- d) entre los 35º y 40º de latitud, por sobre la cota de 1.600 m,
- e) entre los 40º y 45º de latitud, por sobre la cota de 400 m,
- f) al Sur de los 45º de latitud, por sobre el nivel del mar.

Cualquier actividad que realice intervención en un glaciar según los numerales a) y b) del artículo 2º, en un plazo de 180 días debe presentar un programa con medidas de protección del glaciar.

Cualquier actividad que realice intervención en un glaciar según los numerales c), d) y e) del artículo 2º, en un plazo de 365 días debe presentar un programa con medidas de protección y con medidas de limpieza del glaciar.

Cualquier actividad que realice intervención en un glaciar según el



numeral f) del artículo 2º, en un plazo de 500 días debe presentar un estudio de Línea Base del glaciar y un programa de reposición de daños causados al glaciar.”.

-----

Acordado en sesiones celebradas los días 11 y 18 de julio, 1º, 8, 29 de agosto, 5 de septiembre, 31 de octubre y 7 y 28 de noviembre de 2006 con asistencia de los Honorables Senadores señores Antonio Horvath Kiss (Presidente), Andrés Allamand Zavala, Nelson Ávila Contreras (Guillermo Vásquez Ubeda), Pablo Longueira Montes (Carlos Bianchi Chelech, Víctor Pérez Varela) y Alejandro Navarro Brain (Guillermo Vásquez Ubeda y Juan Pablo Letelier Morel).

Sala de la Comisión, a 4 de diciembre de 2006.

María Isabel Damilano Padilla  
Secretario

### **RESUMEN EJECUTIVO**

#### **INFORME DE LA COMISIÓN DE MEDIO AMBIENTE Y BIENES NACIONALES RECAÍDO EN EL PROYECTO DE LEY, SOBRE PROTECCIÓN DE GLACIARES (BOLETÍN N° 4.205-12)**

- I. **PRINCIPALES OBJETIVOS DEL PROYECTO PROPUESTO POR LA COMISIÓN:** en lo fundamental, los objetivos del proyecto de ley son los siguientes:



1.- Crear una legislación especial que le otorgue un marco jurídico a los glaciares, los defina y los preserve dentro de este contexto, además de considerarlos como bienes nacionales de uso público, dada su importancia como ecosistemas que incluyen agua superficial y subterránea constituyendo una reserva de agua dulce para el planeta.

2.- Dirigir y reglamentar la intervención de los glaciares y la ejecución de cualquier tipo de proyectos en ellos, imponiéndose la obligación de monitorear, estudiar y ejecutar las obras que garanticen su protección.

3.- Modificar la ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente con el objeto de exigir que cualquier tipo de intervención a los glaciares se someta al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, por los efectos adversos que podrían generarse sobre estas reservas agua dulce.

**II. ACUERDOS:** aprobado en general. (4x0).

**III. ESTRUCTURA DEL PROYECTO APROBADO POR LA COMISIÓN:** consta de 9 artículos permanentes.

**IV. NORMAS DE QUÓRUM ESPECIAL:** no tiene.

**V. URGENCIA:** no tiene.

**VI. ORIGEN INICIATIVA:** Moción de los Honorables senadores señores Bianchi, Girardi, Horvath, Kuschel y Navarro.

**VII. TRÁMITE CONSTITUCIONAL:** primer trámite.

**VIII INICIO TRAMITACIÓN EN EL SENADO:** 16 de mayo de 2006.

**IX. TRÁMITE REGLAMENTARIO:** primer informe.



**X. LEYES QUE SE MODIFICAN O QUE SE RELACIONAN CON LA MATERIA:**

a) Los numerales 8 y 24, del artículo 19, de la Carta Fundamental, que consagran por una parte, el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación y, por otra, el derecho de propiedad, en especial su inciso segundo, que autoriza a la ley para establecer las limitaciones y obligaciones al derecho de propiedad que deriven de su función social.

b) La ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente

c) El decreto supremo N° 30 de 1997, de la Secretaría General de la Presidencia que contiene el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental.

Valparaíso, a 4 de diciembre de 2006.

María Isabel Damilano Padilla  
Secretario



### **3. PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE LA POLÍTICA NACIONAL DE GLACIARES.**

#### **I. PRESENTACIÓN.**

El presente documento, es un resumen de los lineamientos metodológicos generales para la elaboración de la Política Nacional de Glaciares, elaborado por el Grupo de Trabajo de Glaciares, constituido especialmente para esta tarea.

#### **II. ANTECEDENTES:**

- En mayo de 2006 se presentó proyecto de ley “sobre protección de glaciares” en el Senado, patrocinada por los senadores Horvath, Bianchi, Girardi, Navarro y Kuschel.
- Paralelamente, las ONG Chile Sustentable y Fiscalía del Medio Ambiente (FIMA), en conjunto con la Sociedad Nacional de Agricultura (SNA), elaboraron un anteproyecto de ley sobre la misma materia.
- El Senado, a través del Boletín de Indicaciones 4205-12, sustituyó la mayoría de las disposiciones de la moción, por el articulado propuesto por la ONG Chile Sustentable, FIMA y la SNA, a través de indicaciones presentadas al proyecto de ley por los Senadores Horvath, Longueira y Allamand.
- Con fecha 10 de abril de 2007, la Comisión de Medio Ambiente y Bienes Nacionales del Senado inició el estudio de las indicaciones.
- El 11 de enero del 2007, el Sr. Subsecretario Riveros (SEGPRES) constituyó una mesa de trabajo sobre el tema, con las siguientes instituciones, representadas por sus Subsecretarios y Jefes de Servicio: Ministerio de Minería, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Economía, Dirección General de Aguas, Comisión Nacional del Medio Ambiente y División Coordinación Interministerial de la SEGPRES.

**La mesa de trabajo, propuso al Consejo Directivo de CONAMA, los siguientes pasos, que fueron aprobados en sesión celebrada el viernes 19 de octubre del 2007:**

- 1.- Se elaborará una propuesta normativa que incorpore las actividades que afecten glaciares al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.**



**2.- Proponer Disposiciones Reglamentarias para el Registro de Glaciares y Catastro de Aguas (DGA).**

**3.- Proponer una Política de Glaciares (con un Plan de Acción).**

### **III. GRANDES TEMAS DE LA POLÍTICA: ÍNDICE**

- Antecedentes: Definiciones específicas (glaciares), principios de la política, Justificación central y problemas de los glaciares en Chile.
- Contexto nacional e internacional: desafíos país en el concierto global
- Objetivos
- Lineamientos Estratégicos
- Mecanismo de Implementación de la Política: Actividades o acciones, instrumentos nuevos o existentes por crear (procedencia, responsables, indicadores), mecanismos de seguimiento.
- Resultados esperados.

### **IV. MÉTODO GENERAL DE TRABAJO**

Será liderado por el Grupo de Trabajo de Glaciares, integrado por las instituciones que prepararon la propuesta al Consejo Directivo de CONAMA (Ministerio de Minería, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Economía, Dirección General de Aguas (MOP), Dirección de Fronteras y Límites (MINREL), Comisión Nacional del Medio Ambiente y División de Coordinación Interministerial de la SEGPRES) y será coordinado por CONAMA. Este Comité trabajará en tres ámbitos:

- **Reconocimiento de lo existente:** Se buscarán y revisarán competencias y atribuciones existentes de los organismos del Estado; se identificarán planes, programas y proyectos en ejecución por estos mismos organismos. Se revisarán los compromisos que han tomado Ministerios y Servicios en el marco de Políticas y



Estrategias, en temas como Biodiversidad, Desertificación, Cambio Climático, y Humedales, Áreas Protegidas, Especies Amenazadas, Educación para la Sustentabilidad, Turismo, Borde Costero, Recursos Hídricos, Riego y obras de riego, y otros que se considere relevante: Para estos, se identificarán sinergias, antisinergias, redundancias y complementariedades entre acciones (de ser posible, se realizará una Evaluación Ambiental Estratégica resumida). En el mismo sentido, se buscarán especialmente ámbitos, sectores o actividades que afectan a los glaciares, como aquellas que se verán impactados por cambios en sus patrones de protección.

- **Establecimiento y definición de nuevos requerimientos:** Para aquellos temas que se identifique como vacíos o con ausencia de atribuciones y/o competencias, y que requieran nuevos compromisos o gestiones por parte de organismos del Estado, se buscarán y propondrán estos compromiso tanto en los Ministerios competentes, como en los Servicios bajo su mando. En este sentido, se buscarán alianzas entre instituciones públicas que fortalezcan la coordinación e integración necesarias para una política de Estado
- **Elaborar la propuesta de Política con un plan de acción, que guíe la gestión multisectorial:** La propuesta de política, se elaborará mediante la identificación de los grandes temas que guían su gestión (conocimiento y valoración; protección; manejo sustentable; institucionalidad). Todo este proceso, debe ir acompañado de una discusión multisectorial, que incluya a sectores no publicos interesados en la materia, como académicos, privados, ONG's, y representantes de la sociedad civil. Las diferentes opiniones, sugerencias y propuestas, enmarcadas en tres grandes etapas (informar, recibir sugerencias, e informar lo considerado) deben influir en el contenido de la propuesta final de política.