



**COMISIÓN INVESTIGADORA ACERCA DE LA SITUACION AMBIENTAL
DEL VALLE HUASCO POR EFECTO DE LA INSTALACIÓN DEL
PROYECTO PASCUA LAMA**

**PERIODO LEGISLATIVO 2010-2014.
361ª LEGISLATURA
SESIÓN 12º CELEBRADA EN MIERCOLES 04 DE SEPTIEMBRE DE 2013
DE 14:41 HORAS A 15:35 HORAS.**

SUMA.

Recibir a expertos de BGC Engineering.

I.- PRESIDENCIA.

Preside accidentalmente la sesión el Diputado señor Enrique Accorsi Opazo.

Actúa como Abogada Secretaria de la Comisión la señora María Teresa Calderón Rojas y como Abogada Ayudante la señorita Constanza Toro Justiniano.

II.- ASISTENCIA.

Asisten los Diputados integrantes señores Mario Bertolino Rendic, Giovanni Calderón Bassi, Gustavo Hasbún Selume e Ignacio Urrutia Bonilla.

III.- ACTAS

El acta de la sesión 6ª y su versión taquigráfica se dan por aprobadas por no haber sido objeto de observaciones.

El acta de la sesión 7ª y su versión taquigráfica se encuentran a disposición de los señores Diputados.

IV.- CUENTA.

Se han recibido los siguientes documentos para la Cuenta:

1. Oficio N° 100 del Jefe del Departamento de Evaluación de la Ley por medio del cual señala que el trabajo de evaluación de la ley N° 19.300 sobre Bases del Medio Ambiente será abordado una vez que finalicen los trabajos sobre las leyes sobre protección de los derechos de los

consumidores y la que consagra el principio de neutralidad en la rd para los consumidores y usuarios de internet.

2. Una nota del Dr. Matthias Jakob en la cual se excusa de asistir a la sesión de la Comisión.

3. Oficio N° 10.881 del Secretario General de la Cámara de Diputados por medio del cual comunica que la Sala ha accedido a la proroga de vigencia de la Comisión por 60 días a contar del 26 de septiembre próximo.

4. Un documento preparado por la Biblioteca del Congreso Nacional: Evaluación Ambiental de los Glaciares del Proyecto Minero Pascua Lama.

V.- ORDEN DEL DÍA

Esta sesión tiene por objeto recibir a don Pablo Wainstein, hidrólogo de BGC Engineering, para que nos entregue mayores antecedentes científicos sobre los estudios acerca de ambientes glaciares y periglaciares.

Las exposiciones realizadas y el debate suscitado en esta sesión, quedan archivados en un registro de audio a disposición de las señoras y de los señores Diputados de conformidad a lo dispuesto en el artículo 249 del Reglamento de la Cámara de Diputados.

Habiendo cumplido con su objeto, la sesión se levanta a las 15:35 horas.

ENRIQUE ACCORSI OPAZO
Presidente Accidental de la Comisión

MARIA TERESA CALDERON ROJAS
Abogada Secretaria de la Comisión

**COMISIÓN INVESTIGADORA DE SITUACIÓN AMBIENTAL POR EFECTOS
DEL PROYECTO PASCUA LAMA**

Sesión 12ª, celebrada en miércoles 4 de septiembre de
2013, de 14.41 a 15.35 horas.

VERSIÓN TAQUIGRÁFICA

Preside, en forma accidental, el diputado señor
Enrique Accorsi.

Asisten los diputados señores Mario Bertolino,
Giovanni Calderón, Gustavo Hasbún e Ignacio Urrutia.

Asiste como invitado el doctor Pablo Wainstein
Jaeger.

TEXTO DEL DEBATE

El señor **ACCORSI** (Presidente accidental).- En
el nombre de Dios y de la Patria, se abre la sesión.

El acta de la sesión 6ª se declara aprobada.

El acta de la sesión 7ª queda a disposición de
los señores diputados.

La señora Secretaria dará lectura a la Cuenta.

-La señora **CALDERÓN** (doña María Teresa) da
lectura a la Cuenta.

El señor **ACCORSI** (Presidente accidental).-
Ofrezco la palabra sobre la Cuenta.

La presente sesión tiene por objeto recibir a
don Pablo Wainstein, hidrólogo de BGC Engineering, para
que nos entregue mayores antecedentes sobre los estudios
que sirvieron de base para el proyecto Pascua Lama.

Tiene la palabra el señor Pablo Wainstein.

El señor **WAINSTEIN**.- Señor Presidente, mi
nombre es Pablo Wainstein Jaeger y soy ingeniero civil,

glaciólogo e hidrólogo de BGC Ingeniería, empresa con sede en Canadá y en Chile.

Para mí es un honor estar acá.

Daré inicio a mi presentación, que tratará sobre ambiente glacial y periglacial en Pascua Lama.

Comenzaré haciendo una breve reseña de los tres autores de esta presentación, que conforman el equipo con que trabajo.

Soy ingeniero civil hidráulico, magíster en ingeniería y doctorado en Hidrología Glacial y Permafrost. Soy miembro de algunos directorios en Alaska y en Canadá, y autor y revisor de diferentes revistas internacionales científicas, tales como: Hydrological Processes y Journal of Glaciology. El doctor Matthias Jakob es geomorfólogo, magíster en Permafrost de montaña y doctorado en geomorfología; tiene a su haber más de 50 publicaciones internacionales; por último, el doctor Lukas Arenson es ingeniero geotécnico, doctorado en glaciares de escombros y permafrost de montaña, y es profesor adjunto de la Universidad de Manitoba.

La presentación de hoy versará sobre el ambiente glacial y periglacial. Estos ambientes están rodeados de bastantes mitos; mi objetivo es explicar su comportamiento, desmitificarlos y compartir mi conocimiento de lo que se sabe, lo que no se sabe y también lo que se cree saber de estos dos ambientes, glacial y periglacial.

En primer lugar, el cambio climático global no existe, es un mito. Existe cambio climático global, lo que está provocando un aumento de temperatura en forma global. En el gráfico se puede comprobar que la anomalía de temperatura básicamente ha estado en cero por bastantes décadas y siglos, hasta un poco antes de 1900, época en que empieza a subir.

Luego, el gráfico muestra diferentes modelaciones que dan predicciones futuras. Ninguna de ellas muestra un descenso de la temperatura global. En fin, la evolución del clima en los pasados sesenta años se produjo principalmente debido al aumento de gases de invernadero, lo que ha generado un aumento globalizado de la temperatura.

En un rango más local, ¿qué significa lo anterior para Los Andes? Implica un cambio en la isoterma cero, que es, básicamente, la altitud, la elevación en donde la temperatura media anual del aire es de cero grados. Esto está subiendo en altitud, lo que para nosotros significa que la línea de las nieves sube en altitud.

Desde un punto de vista práctico, significa que está nevando menos y, por ende, ello tiene repercusión en la disponibilidad de agua por el derretimiento nival -no glacial, sino nival- y esta disponibilidad ha ido bajando en respuesta a esos cambios.

Esos cambios estiman que esta isoterma ha ido subiendo en altitud más o menos en unos 9 metros por año de diferencia altitudinal.

El retroceso de los glaciares es global, se observa globalmente. Los pocos glaciares que no están retrocediendo se deben a casos muy particulares de ese cuerpo de hielo en el mundo.

Si comparamos estas 3 imágenes del glaciar Muir, en Alaska, se puede apreciar muy claramente que desde 1941 a 1950 y a 2004 ha tenido un retroceso considerable. Este es un ejemplo bastante claro en Alaska.

El Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar -*World Glacier Monitoring Service*-, con base en Suiza, en 2011 elaboró un informe en el cual se muestra el balance de masa de glaciares en el mundo, que es básicamente la

resta o la comparación entre lo que entra de masa por precipitación de nieve y lo que sale de masa por derretimiento, evaporación, etcétera. El punto es que esto ha sido altamente negativo, acumulativamente negativo, y está aumentando su tasa de derretimiento en forma globalizada.

Sudamérica no es una excepción a lo anterior y, por ejemplo, el glaciar Qori Kalis, en Perú, muy estudiado por el doctor Lonnie Thompson, de la Ohio State University, en Estados Unidos, ha mostrado también retrocesos bastante importantes, como muestra la figura, incluso se ha generado una laguna proglacial, o sea, en frente del glaciar, después de su retroceso, entre 1978 y 2004. La UNEP lo reseña en este gráfico, donde se ve que los glaciares están acortándose. Este gráfico muestra cuán largos eran los glaciares, cuánto han ido retrocediendo y, acumulativamente, se ve que los glaciares andinos, en Sudamérica, están acortándose y retrocediendo.

¿Qué pasa en Chile? Los glaciares también están retrocediendo. La imagen muestra el glaciar Jorge Montt retrocediendo -está en la Patagonia chilena- y el glaciar Estrecho. Si se comparan las primeras fotografías aéreas, desde 1956 hasta ahora, se ve que ha perdido masa en forma importante. Este glaciar está ubicado en el proyecto Pascua Lama, lo que demuestra que Chile no escapa de la tendencia mundial de retroceso glacial.

En el gráfico que observan, en el extremo superior izquierdo, hay varios glaciares. También es el balance de masa, por ende, se trata de cuánto va achicándose este glaciar, si su balance de masa es negativo. Se ve que los glaciares que están en el proyecto Pascua Lama: Guanaco y Estrecho, o su glaciar de referencia, Ortigas 1, siguen una tendencia similar de retroceso, su balance de masa ha ido siendo negativo y

siguen una tendencia también similar a otros glaciares andinos chilenos, como el Echaurren Norte y el Tapado. El glaciar Echaurren Norte ha sido incluido desde hace años -ya en 1980- y estudiado por la Dirección General de Aguas de Chile, también ha sido incluido en el inventario y el estudio de monitoreo internacional de la WGMS en Suiza y se ve que ha tenido un decrecimiento bastante considerable en su masa.

Ahora bien, teniendo en cuenta lo antes dicho, quiero pasar al segundo mito: que los ambientes glaciales y periglaciales son parecidos. Toco este tema porque en escritos, dichos, conversaciones, en fin, ambos ambientes se mezclan; pero son diferentes, por tanto, deben tratarse y estudiarse de manera diferente.

El ambiente glacial es donde se ubican los glaciares, campos de hielo, glaciaretos.

El ambiente periglacial no es como la palabra quiere indicar, es decir, la periferia del glaciar -esa definición se acuñó antaño, entre 1930 y 1940-, sino un ambiente frío y criogénico, es decir, un ambiente que necesita procesos de congelamiento para ser catalogado como periglacial, no necesita la presencia de un glaciar *per se*.

Hay ambiente periglacial en lugares donde no hay glaciares, tales como en la tundra canadiense, tundra rusa o tundra escandinava. Además, está determinado por permafrost en profundidad, por procesos de congelamiento y presencia de formas del paisaje como glaciares de escombros, entre otros.

El señor **ACCORSI** (Presidente accidental).- ¿Esos son iguales a los glaciares de rocas o son diferentes?

El señor **WAINSTEIN**.- Es lo mismo. En términos mundiales, la Asociación Internacional de Permafrost los

describe como glaciar de escombros. En Chile, se les llama glaciar rocoso.

Muchas veces, los glaciares rocosos no pertenecen al ambiente glacial, sino al periglacial, y funcionan completamente diferentes de un glaciar o un glaciarete.

En fin, ambos ambientes son dinámicos y -en esto quiero enfatizar- cambian en el tiempo, en diferentes formas y velocidad. Los glaciares reaccionan en forma anual estacional. Los glaciares rocosos o de escombros -ambiente periglacial-, reaccionan a escalas de siglos, décadas, milenios, o sea, a mucho más largo tiempo.

El siguiente mito dice relación con que los ambientes glacial y periglacial tienen el mismo comportamiento, pero no es así.

El ambiente glacial reacciona a la meteorología diaria, estacional y anual. Uno ve que ese glaciar o glaciarete está ganando masa en el invierno por nieve, y en el verano pierde masa por derretimiento. Si viene un evento del Niño, puede ganar más masa; en cambio, si viene un evento de la Niña, puede perder más masa.

Un glaciar de escombros o el ambiente periglacial no reacciona así; lo hace a escalas de siglos y milenios. ¿Por qué? Aquí está el meollo de la diferencia.

En el ambiente glacial, el hielo es superficial y está expuesto a la superficie, directamente bajo los rayos del sol. En cambio, el ambiente periglacial pertenece al suelo y subsuelo. Ese glaciar de escombros o rocoso está cubierto por una masa de detritos que lo aíslan y, entonces, el intercambio calórico es completamente diferente al de un ambiente glacial.

En fin, existen conceptos que se pueden usar en el ambiente glacial, como el de balance de masa anual. En

el ambiente periglacial o glaciario de escombros no se puede usar ese concepto. Es como pedir a un auto que vuele como un avión. ¡Son completamente diferentes!

Tampoco se puede usar el concepto de línea de equilibrio, que denota y distingue las áreas de acumulación de nieve de un glaciario de las áreas de ablación de un glaciario.

Ahora bien, ¿qué es un glaciario? Hemos estado hablando de glaciario y de glaciario de escombros.

Un glaciario se define como una masa perenne de hielo, neviza y nieve, formada en la tierra principalmente como resultado de la recristalización de nieve. Es decir, la nieve cae, pasa el tiempo, se cohesiona, se hace más dura, se densifica y se crea hielo. Esto bajo definiciones internacionales de Cogley Et al, de 2011. Ahí, justamente podemos ver una foto del glaciario Estrecho de Pascua Lama.

Existe permafrost alrededor de los glaciares en Pascua Lama, porque están a una altitud y a una orientación dada.

¿Qué es el permafrost? Ojalá de toda la presentación pudiera transmitir este mensaje: Permafrost es un estado térmico -da lo mismo que sea suelo, roca, granito o arcilla-, en el cual el suelo tiene una temperatura de cero grados o menos, o sea, congelado por al menos dos años consecutivos. No tiene nada que ver si tiene o no hielo en el suelo, ya que puede ser permafrost completamente seco.

¿Cómo lo describimos los científicos? Básicamente, por una curva de temperatura, que se puede apreciar en la lámina, que es una trompeta temperatura.

No voy a entrar mucho en detalles, solo quiero señalar dos cosas. Las líneas amarillas y las rojas representan el envoltorio de las temperaturas máximas y mínimas que uno puede observar en el suelo si entierra un

termómetro muy profundo y va midiendo esas temperaturas en profundidad.

Al principio del suelo existe una capa denominada capa activa. Se llama así, porque, en forma activa, se congela y se descongela anualmente. En verano, está descongelada; en invierno, congelada. Debajo de ello está el permafrost, que nunca se descongela, por eso se llama así. Independiente de si tiene hielo o no, puede ser seco. Simplemente es suelo frío, es decir, suelo roca frío. Por lo tanto, la definición destaca que permafrost es el suelo o roca que permanece a una temperatura de cero grado celsius o menos por, al menos, dos años consecutivos. Es un poco como comparar un enfermo: la temperatura de una persona que tiene fiebre es mayor de 37 grados. El permafrost es el suelo que tiene temperatura bajo cero grados por dos años consecutivos.

El señor **ACCORSI** (Presidente accidental).- ¿Eso es independiente del período del verano? ¿El permafrost en verano baja de cero grados o permanece siempre con cero grados?

El señor **WAINSTEIN**.- Siempre con cero grados. Lo único que sube su temperatura es la capa activa y esa capa superficial del suelo que, por ejemplo, en Pascua Lama es muy delgadita -puede ser de 15, 20 o 50 centímetros. Si uno baja en altitud puede ser más gruesa -de un metro o un metro y medio-, esa es solo la capa que anualmente se congela y se descongela. Bajo ella, el permafrost está congelado, lo cual tiene una implicancia hídrica que voy a explicar más adelante.

Este permafrost puede o no tener hielo de suelo. Entonces, el hielo de suelo es el que se encuentra en el suelo y que ha sido formado por procesos de congelación del suelo. En otras palabras, el suelo se va congelando y, al hacerlo, existe lo que se llama succión de agua. Si existe agua en el entorno, por estar

congelándose, se succiona, el suelo la absorbe, por ende, se van creando esos lentes de hielo, siempre y cuando exista agua disponible.

Reitero, el permafrost puede ser seco y no tener hielo de suelo, lo que es común de encontrar en Los Andes y en los Himalayas; en el fondo, en lugares de bastante altitud.

El permafrost es un estado térmico, pero tiene su representatividad en la superficie del suelo con algunas formas. Es lo mismo que cuando se tiene fiebre y uno ve a la persona de color rojo: es un signo, un síntoma.

Algunas formas del permafrost que se ven son los glaciares de escombros o rocosos. En este caso, hay dos fotografías -a la izquierda y a la derecha- en las que se ven formas denominadas glaciares de escombros o rocosos. ¿Qué son? Son formas de permafrost, es decir, acumulaciones de detritos, piedras, grava, gravilla, arena y también pueden tener hielo de suelo. Cuando tienen una presencia bastante grande de hielo de suelo son activos, porque activamente reptan, se deforman y bajan, o sea, se mueven; lentamente, pero lo hacen. Ahora, si tienen menos hielo de suelo, no son tan activos y se llaman inactivos, por lo que no reptan tanto. Ahora, si ya no hay hielo de suelo, es relicto. Ya no reptan, no se deforma, pues no tiene hielo de suelo, tampoco pertenece al ambiente periglacial y básicamente dejó de estar subyacente por permafrost.

Otro mito es que no hay diferencias entre glaciares y glaciaretas. ¿Por qué quiero tocar ese tema? Porque sí existen diferencias, pues internacionalmente así se conoce.

La definición de términos glaciológicos de Cogley et al., así lo distingue. Los glaciares y los glaciaretas no son lo mismo, pese a que pertenecen al

ambiente glaciar. Hay diferencias en tamaño. Los glaciares son más grandes, los glaciaretes más chicos. En dinámica, los glaciares se mueven y se deforman; el glaciarete es más estático. En estabilidad en el tiempo, el glaciar es bastante más estable; en cambio, el glaciarete es más inestable, cambia bastante más, y en contribución hídrica, los glaciares contribuyen más hídricamente que un glaciarete. La contribución hídrica de un glaciarete es bastante mínima, casi insignificante, por ejemplo, en relación con el Glaciar Estrecho.

Asimismo, estos cuerpos de hielo presentan polvo y detrito, y si uno hace una calicata o un hoyo en el glaciar o estudia las paredes de hielo a su alrededor, se observan bandas de polvo y de detrito.

La existencia de esas capas de polvo, hablando tanto a nivel internacional y mundial, como en el caso de Pascua Lama, es natural en el perfil, en profundidad de este cuerpo de hielo. Por ejemplo, se ve una fotografía del Glaciar Estrecho, hay bandas marcadas de polvo y de detrito de diferentes granulometrías que pueden tener 100, 150 o 50 años. Algunas se han ido acumulando, otras están bastante diferenciadas, pero en el corte de ese hielo se ve.

Ahora, en la fotografía del Glaciar Brown, también se observan bandas, más en la neviza.

Entonces, anualmente, en el verano sobre todo, cuando el ambiente es más seco y bastante ventoso, se deposita polvo, que científicamente es muy interesante, porque puede tener dos reacciones, dependiendo de su granulometría, es decir, del tamaño de las partículas, del espesor de ese polvo y cómo está distribuido sobre el hielo, o la nieve en este caso.

Ahora, observamos una gráfica que recopiló un estudio bibliográfico internacional, bastante extenso, que investigó en Alaska, en Canadá, en los Himalayas, en

Asia y en Sudamérica, y muestra que hasta un cierto punto crítico de espesor el polvo aumenta el derretimiento. Después de ese punto crítico, el cual produce el mismo efecto que no tener polvo, ese glaciar o manchón de nieve empieza a ser protegido por la capa de polvo o detrito que está encima.

El gráfico se divide en dos partes. La parte izquierda representa la granulometría y el espesor que pudiera aumentar la ablación, la parte derecha presenta la granulometría y el espesor, que hacen que ese hielo subyacente, básicamente, sea protegido.

Entonces, la reacción de un glaciar a la presencia de polvo detrito no es lineal, ni estrictamente aumenta su ablación.

Ahora, asumamos que estamos ante la presencia de ablación, o sea, la presencia de este material está aumentando el derretimiento de este glaciar.

También basados en estudios bibliográficos y modelaciones, se ha observado que a una distancia de 10 kilómetros de un glaciar el cambio hídrico potencial es alrededor de 1 por ciento.

Este gráfico muestra tres escenarios de modelación. Un escenario conservador, en que este detrito aumenta el derretimiento solo en un 20 por ciento; un escenario más extremo, de 50 por ciento, y un escenario máximo teórico, de 250 por ciento de aumento de derretimiento.

El punto es que a 10 kilómetros del glaciar el cambio hídrico, bajo un escenario conservador del 20 por ciento, es de 1 por ciento, y a 100 kilómetros, es de 0,1, aproximadamente.

Entonces, el efecto hídrico al primer uso de agua de una cuenca, con respecto a la distancia de un cuerpo de hielo sometido a un aumento de su ablación por presencia de detrito, no es lineal, porque estas son

escalas logarítmicas, y tampoco es hídricamente significativo o medible, porque a 100 kilómetros medir un cambio de 0,1 por ciento en disponibilidad de agua es un desafío bastante grande para un hidrólogo, ya que los métodos no dan para eso.

El señor **ACCORSI** (Presidente accidental).- Podríamos decir que la cubierta que se produce con la granulación que tengan los materiales en un caso es natural, que se generan a través de los años y tienen ciertas características.

El otro, de faenas mineras a gran escala, por ejemplo, son producto del movimiento de tierra, el tránsito de los camiones o las explosiones o tronaduras. Entonces, el material es completamente diferente al que se sobrepone sobre los glaciares.

¿Han visto diferencia entre el detrito "natural", que no está accionado por el hombre, y el que es producto de los proyectos mineros a gran escala?

El señor **WAINSTEIN**.- Señor Presidente, hay que diferenciar dos procesos. El detrito que se observa natural puede ser de granulometría más gruesa, si proviene de procesos de remoción en masa, dígame aludes de tierra o capas superficiales de tierra que ruedan y cubren un glaciar o glaciarete.

También puede ser de granulometría fina, pues el viento circundante levanta polvo y después lo deposita donde hay turbulencia, etcétera.

Diferenciar ese polvo natural que levantó el viento, de granulometría fina, del polvo que levantó un camión andando de la misma granulometría fina,... las granulometrías son muy similares.

Por lo tanto, el efecto hay que analizarlo en términos de cuánto polvo hay, cómo está reaccionando ese glaciar, qué dicen las mediciones, pero a simple vista es indistinguible uno de otro en su granulometría.

Sí se distingue el natural, que ha sido depositado por procesos de aludes o material de remoción en masa. Eso tiene una granulometría más gruesa.

Entonces, lo que se pregunta está muy ligado a lo siguiente. Por ejemplo, los glaciaretos son cuerpos que varían bastante en el tiempo y existe lo que se llama el proceso de cubrimiento por derretimiento. En estos glaciaretos -digo glaciaretos, porque los glaciares son cuerpos bastante más lentos de reaccionar que un glaciarete- se ve que tienen bandas de detritos en el horizonte en profundidad.

Sabemos que la temperatura global está aumentando y que el hielo se está derritiendo y, como se ve en la gráfica, al pasar el tiempo 9, 6 o 3 años atrás, que es una escala de tiempo hipotética, la capa de detritos en la superficie se va acumulando. Es como un sándwich, le estoy sacando el jamón y quedan dos panes juntos, y luego le saco el otro jamón y me quedan tres panes juntos.

Entonces, superficialmente se ve que el glaciarete está siendo cubierto de material, y así es, porque las bandas de hielo englaciadas internas se han ido derritiendo.

Si a esto se suma el proceso geomorfológico circundante de remoción en masa, etcétera, claramente se verá un mayor cubrimiento.

Este es un proceso que ha sido estudiado en el Ártico Canadiense, en los Himalayas, en fin.

Esta situación, por ejemplo, se observa en los glaciaretos en Pascua Lama. Esta foto fue captada en el Toro 1, y se ve una granulometría gruesa. Fue tomada por la gente que hace el programa de monitoreo glaciario, el CECS, y se ve que la granulometría es bastante gruesa; no es un material fino.

En la cuenca de ese glaciarete se observan bastantes movimientos en masa, en términos de flujo de detritos, etcétera.

El punto es que los glaciaretes son cuerpos de hielo que varían su forma y características, influenciados por la meteorología local, tanto estacional, anual, decadal, etcétera. O sea, son bastantes movibles y dinámicos.

El otro mito es que un glaciar de escombros es un tipo de glaciar, pero no lo es.

Este es mi segundo punto a recalcar de toda la presentación. No son lo mismo, son distintos y se tratan de forma diferente.

Los glaciares de escombros no son un caso especial de glaciar. Están compuestos generalmente por suelos congelados.

Hay diferencias en balance de masa. El balance de masa anual no se puede aplicar a un glaciar de escombros o rocoso.

El balance de energía es completamente diferente.

Hay diferencias en aislación térmica, dinámica y en la geomorfología de esa forma.

Un glaciar se mueve, se desliza. En cambio, un glaciar de escombros reptá, muy lentamente. ¿Cuán lentamente? Por ejemplo, como lo que muestra acá el doctor Andreas Käab, que ya no está en la Universidad de Zurich, en Suecia, este es un movimiento muy menor de un glaciar de escombros. Entre 1981 y 1994 la forma simplemente reptó un poquito. ¿Cuánto? Puede haber sido un metro, algo así, pero son órdenes de magnitud muy menores con respecto a un flujo de hielo superficial, como tiene un glaciar.

Con respecto al permafrost, dije que está presente en Los Andes, pero la belleza que tenemos en Los

Andes es heterogénea. Es decir, ninguna cumbre es igual a otra, ningún valle es igual a otro. Es completamente diferente a lo que sucede en el Ártico Canadiense, donde también trabajo, en que casi no hay relieve. Es bastante plano y, por de pronto, la insolación solar es muy constante.

Entonces, ahí uno puede hablar de términos como permafrost continuo, que en todo lo que veo está continuamente, en términos del espacio, subyacido por permafrost; o sea, subyacido por suelo congelado.

En cambio, en Los Andes no es así, ya que es altamente heterogéneo, varían las cumbres, la altitud, la topografía, la orientación al sol, en fin.

Por ende, el permafrost de montaña es heterogéneo y discontinuo por naturaleza. Su distribución es probabilística. Sin embargo, lo que sí puedo hacer son dos cosas: o modelar dónde puede haber permafrost o cuán probable es que yo tenga permafrost.

En este caso, hay una fotografía de un modelo que hicimos en que sobre cierta altitud es muy probable que exista permafrost, y bajo esa cierta altitud, en diferentes valles, es menos probable

¿Qué se puede hacer si no hay? Instalar pozos de perforación, instrumentarlo y medir la temperatura.

¿Cómo certifico que hay permafrost? Midiendo por más de dos años y que la temperatura sea bajo cero por más de dos años, independiente de si hay o no hielo.

¿Qué pasa con la hidrología de estos sistemas y del permafrost en este caso?

El mito es que la hidrología del ambiente periglacial es significativa en una cuenca de montaña.

Ahí tenemos columnas de suelo, al principio esta la capa activa, que activamente se congela y descongela en el año, y después está el permafrost, que nunca se descongela durante el año.

En el invierno no existe flujo de agua, denotado por la flecha que viene por la izquierda, y está todo bajo cero.

En primavera empieza a estar más calentito y la capa activa empieza a engrosarse, se comienza a descongelar. Si esta capa activa tenía hielo, este claramente se empieza a derretir. Si a la izquierda de esta columna de suelo viene algo de agua, hacia la derecha sale algo y un poquitito más, que fue la contribución de ese pedacito de capa activa.

Ya en el verano tardío esta capa activa está en su máximo espesor y no se profundiza más porque llegó al tope del permafrost. Ya no hay más hielo en la capa activa, entonces el flujo de agua que entra por la izquierda y el que sale por la derecha es el mismo. En ese sentido, no hay ningún cambio; no hay nada que contribuya o que saque agua.

No obstante, durante el otoño esta capa activa se congela nuevamente. Las temperaturas bajan y se congela por flujos calóricos de arriba y de abajo, simultáneamente.

Lo importante es que si había agua ahí, por ejemplo, la misma agua que fluyó durante el año se empieza a congelar. Entonces, por la izquierda viene más agua de la que sale por la derecha, porque hay algo que se guarda en esa capa activa.

La conclusión de esta historia estacional es que en forma anual neta, esa capa activa no me está contribuyendo agua. No es un recurso de agua, porque el agua que esa capa activa guardó durante el invierno y que entrega más adelante, básicamente viene de derretimiento nival, ladera arriba, o de derretimiento glacial, aguas arriba, y esta capa activa simplemente la transfiere. Es el medio poroso en donde a veces fluye más rápido, a

veces más lento o en otras ocasiones simplemente no fluye.

Las cuencas periglaciales son tremendamente complejas. Como ejemplo, elijo cualquier parte de Los Andes -esta imagen la saqué de Google Earth- en donde exista algo de hielo superficial, existe un glaciar de escombros, que es una forma periglacial de permafrost, existe nieve alrededor, entonces si mido el caudal que sale por ese riachuelo, lo que voy a estar midiendo es una combinación de lluvia, si es que la hay -es bastante seco el ambiente en Los Andes-, derretimiento de nieve, puede ser contribución de hielo de suelo, si este se está degradando y se está descongelando, pero no puedo otorgarle a ese glaciar de escombros la responsabilidad de la contribución hídrica simplemente porque mido en frente, porque pueden provenir de muchas partes.

¿Cuánto es esa contribución teórica? Analizamos una cuenca en particular, se sobrepone la distribución areal de dónde puede haber permafrost, o sea, dónde hay situación de congelamiento; se sobrepone a eso qué tipo de suelo hay, porque si todo el suelo es roca de basamento, no porosa, un granito perfecto, aunque esté congelado, o sea, que esté frío, no puede albergar hielo ahí porque no hay poros en donde albergarlo.

En cambio, si tengo suelo coluvial, de río o fluvial, que tiene hartos huecos, ahí sí puedo albergar más hielo.

Entonces, se hace un ejercicio teórico y se dice que bajo un cambio climático extremo de 4° C, hay un cambio en la contribución hídrica, porque ese permafrost se empezó a degradar por este cambio extremo de alrededor de 2.4 a 3.2 litros por segundo para esa cuenca de estudio.

Ahora, esa cuenca alimenta al río Turbio y tiene un flujo promedio de 534 litros por segundo. Es así

que ese cambio bajo este aumento extremo de temperatura, o sea, la contribución de este ambiente periglacial por la degradación del permafrost, inducido por este cambio, es de alrededor de 0.6 a 0.8 por ciento del caudal original. Hidrológicamente, es insignificante, y tecnológicamente no es medible un cambio tan pequeño.

Entonces, la degradación del permafrost bajo un calentamiento extremo del clima resulta en esa contribución y se esconde dentro de la variabilidad natural del sistema hídrico. Por eso es tan difícil medir una contribución de este estilo, insignificante, porque sobrepuesto a esto hay ruidos de eventos de El Niño, de La Niña, años más secos, años más cálidos, etcétera.

Para finalizar, quiero resaltar algunos de estos puntos. Los glaciares y glaciaretos están en retroceso a nivel mundial. Chile y Los Andes del norte no son la excepción.

Los ambientes glaciales y periglaciales no son similares, no son lo mismo, presentan diferencias considerables, lo que ha sido establecido internacionalmente por la Asociación Internacional del Permafrost y por la Sociedad Internacional de Glaciología, ambas entidades científicas mundiales.

Los glaciares son muy diferentes a los glaciares de escombros o glaciares rocosos, como algunas veces se les llama en Chile.

No todo el permafrost contiene hielo de suelo. En Los Andes es común que haya permafrost seco, lógicamente, está a temperaturas friólicas o bajo cero grados, por dos años consecutivos.

El efecto de la presencia de polvo sobre un cuerpo de hielo es no lineal y no siempre aumenta su ablación. También vemos que puede protegerla.

Las formas glaciales son altamente dinámicas y reaccionan con respecto a la meteorología, tanto

estacional como anual, y a los procesos geomorfológicos que los rodean. No así las formas periglaciales que reaccionan muchísimo más lento, órdenes de magnitud más lento, a nivel de siglo.

Por último, la contribución hídrica del ambiente periglacial, es decir, el ambiente sujeto a congelamiento, que tiene permafrost, glaciares de escombros, etcétera, bajo una degradación modelada extrema, es insignificante y no medible al punto de primer uso de aguas, en términos generales, obviamente, para la cuenca que se estudió en ese caso.

Muchas gracias.

El señor **ACCORSI** (Presidente accidental).- Agradecemos la ilustrativa presentación del señor Pablo Wainstein.

Tenemos algunas preguntas respecto de las consecuencias que se estudia en la Comisión Investigadora, sobre el proyecto minero.

Hemos asistido, no solamente en el caso de Pascua Lama, a proyectos que contemplaron el traslado de glaciares y otro de Codelco, que también lo contempla. Es decir, si la veta minera está debajo del glaciar, se saca el componente de hielo y se traslada a otro lugar que, según lo que nos han explicado acá y que dicen los titulares del proyecto, no representaría una "intromisión" al glaciar mismo. No lo consideran como un biorganismo, sino que tiene que ver con otras características.

Dicen que trasladar el glaciar no tiene ninguna consecuencia.

Mi percepción es que tiene una implicancia y debiera haber alguna consecuencia si se traslada el glaciar de un lugar a otro, porque es una biomasa integrada a un proceso que dice relación con otras condiciones del lugar mismo, de lo que hay debajo del

glaciar. Si hablamos de un glaciar de roca, si se saca el glaciar que está sobre, entonces, las temperaturas van a cambiar.

Otra cosa que nos han explicado es que si hay glaciares y se produce un cambio meteorológico, si hay nubes, por ejemplo, es más factible que precipite sobre el glaciar que en un área en que no existe esa temperatura o el glaciar. Es decir, si hay nubes alrededor de la montaña, va a precipitar en el glaciar.

Esas dos aseveraciones son bastante preocupantes. ¿Cuál es su opinión al respecto?

Tiene la palabra el señor Wainstein.

El señor **WAINSTEIN**.- Señor Presidente, sobre la primera pregunta, coincido con usted en que el traslado, la intervención directa de un glaciar, tiene repercusiones. Extraer el glaciar, extraer hielo de un glaciar superficial, moverlo a otro valle o a otra localidad que no tenía hielo glaciar, va a tener efectos detrimentales con respecto a esa masa de hielo, porque, básicamente, se cambia la estabilidad energética.

El glaciar no es como una planta que se traslada o se trasplanta, se le echa agua y sigue creciendo.

Entonces, en ese caso, comparto con su apreciación de que el traslado de hielo superficial a otro sitio va a resultar en pérdida de masa glaciar, como una intervención directa.

Respecto de la otra pregunta, no tengo en mi conocimiento algún estudio acabado, internacional y revisado que pueda asegurar que la precipitación tan local y específica aumenta dependiendo de la existencia de un glaciar o no.

En términos de escala mayor, por ejemplo, Campos de Hielo Sur, afecta la meteorología local. La

Antártida, también; Groenlandia, también, pero son masas de hielo enormes, la escala es completamente diferente.

A escala de un glaciar de montaña, de valle, en Los Andes, no tengo conocimiento de algún estudio. Una observación, que puede ser subjetiva, no basada en estudios, porque no los conozco, es que me parece que no debiera tener mayor incidencia esa masa pequeña de hielo. No es el trópico, donde el bosque genera una cantidad de humedad dada que por convección después precipita en el lugar. Los Andes recibe su mayor precipitación por frentes que vienen del océano, que son llevados hacia la montaña y precipita orográficamente o por contacto con la montaña. Suben, condensa el vapor y precipita en lluvia o nieve.

Entonces, tiendo a pensar que no, que la presencia de un glaciar pequeño, de un glaciarete, no afectaría en ese sentido.

Ahora bien, es cierto que si se tiene una estación meteorológica que mide sobre el hielo y otra que mide fuera del hielo en un lugar cercano, pero bastante distante, pueden tener diferentes mediciones, porque la meteorología muy local y específica es diferente.

Me cuesta ver la ligazón que pueda tener la resultante en precipitación.

El señor **ACCORSI** (Presidente accidental).- Tiene la palabra el diputado señor Giovanni Calderón.

El señor **CALDERÓN**.- Señor Presidente, me gustaría hacer una precisión. Según recuerdo de la exposición del superintendente de Medio Ambiente, el traslado de los glaciares quedó descartado en las primeras modificaciones a la resolución de calificación ambiental, en 2004 o 2006, no recuerdo exactamente, pero está claro que quedó descartado, fue prohibido en una de las modificaciones de la RCA.

Lamentablemente, llegué tarde a la exposición del profesor, pero me quedó claro lo del aporte hidrológico del ambiente periglacial, sin embargo, me gustaría saber cuál es el aporte del glaciar mismo al sistema hidrológico del río Huasco y, particularmente, del río Turbio.

El señor **WAINSTEIN**.- Señor Presidente, respecto a su apreciación, no la hice porque respondí la pregunta a modo general de cualquier proyecto. Coincido con usted que en el caso de Pascua Lama no existe intervención física directa por las razones que usted expuso.

Respecto de la contribución hídrica, Los Andes, como cordón montañoso, y las localidades, básicamente tienen su agua por derretimiento nival, no por derretimiento glaciar per se. Es cierto que hay lugares que experimentan menos agua y eso está directamente relacionado con la disponibilidad del manto nival, que es lo que da la mayor cantidad de agua.

Ahora bien, en los cuerpos glaciares y en el ambiente glaciar también tienen una contribución, por supuesto, pero es relativamente bastante menor que la contribución nival. Dentro de ellos, los glaciares contribuyen más que los glaciaretos, que lo hacen de manera bastante poco significativa.

En términos de temporalidad, en épocas más tardías en el año, el ambiente glacial contribuye más que el manto nival. Por lo tanto, existe una diferencia tanto en cuantía como en temporalidad de la contribución.

El señor **ACCORSI** (Presidente accidental).- Según lo que entiendo de su presentación, la atribución que algunos hacemos a la intervención de los proyectos y al cubrimiento de los glaciares, sería independiente del proyecto o la desaparición -tal como se ha mostrado en muchas fotografías- de algunos de los glaciares, o el acortamiento de ellos, estaría dado más por el aumento de

temperatura global que por el manto del detritus que tenga o no tenga un proyecto x. ¿Podríamos concluir eso o son efectos simultáneos, es decir, derretimiento por aumento de la temperatura y por el cubrimiento?

El señor **WAINSTEIN**.- Señor Presidente, son efectos que no son claramente separables.

El efecto del calentamiento global es muy importante y es el responsable mayoritario del retroceso glacial a nivel mundial, sudamericano y chileno. Sobre eso, y como "ruido" de medio ambiente para el análisis, se sobrepone la presencia de polvo o detritus, que también es natural. Bueno, en el caso de proyectos que pueden generar polvo, también puede haber una componente.

Lo importante de eso es tratar de diferenciar tanto los efectos como la cuantía de ese polvo. En el caso particular de Pascua Lama, los índices del programa de monitoreo de glaciares, no muestran que ahí haya un efecto de la acción minera, comparando los glaciares que están en el proyecto con los glaciares de referencia, los cuales están siendo sometidos a presiones climáticas iguales, a presiones de polvo natural -dígase parecidas- y, obviamente, la parte de operación minera no, porque es un glaciar fuera del área y además porque es de referencia. Ambos presentan tendencias similares. Incluso muchas veces vemos que el glaciar de referencia está disminuyendo más rápidamente.

A manera de conclusión, sí son procesos que se yuxtaponen, pero no es fácil de determinar, razón por la cual el programa de monitoreo glaciar tiene índices que no han sido sobrepasados, etcétera y, además, el glaciar de referencia ha tenido la misma tendencia. Aquí no hay un corte tan claro que se pueda dar así como así.

El señor **ACCORSI** (Presidente accidental).- En nombre de la Comisión, agradezco la presencia de nuestro

invitado como la documentación y direcciones para futuras consultas.

Por haber cumplido con su objeto, se levanta la sesión.

-Se levantó la sesión a las 15.35 horas.

ROSA ANGÉLICA SÁNCHEZ

Redactora

Jefa (s) de Taquígrafos de Comisiones