

Tarea N°3 Glaciología: Física de glaciares

Paul Sandoval Quilodrán

Diciembre, 2022

a) Componentes del balance energético

Calcule los promedios de los cuatro componentes del balance energético superficial (radiación neta onda corta, radiación neta onda larga, flujo turbulento sensible y flujo turbulento latente) en la superficie del Glaciar Exploradores en verano 2017, usando los datos medidos en una estación meteorológica automática (archivo exploradores.csv) y las formulas (5.27) y (5.28) del libro de Paterson. Ya que falló el sensor de humedad relativa durante el periodo de medición asume un valor constante que te parece razonable para la zona del glaciar. Use la formula (4.4) del libro para calcular la presión el vapor de agua de saturación como función de la temperatura. También indique los valores máximos y mínimos calculados para los cuatro flujos de energía.

Como primer paso para el cálculo de estas variables fue necesario realizar un análisis de coherencia física de los datos medidos por la estación. Para ello, se chequeó que todas las variables (a excepción de la temperatura) fuesen valores mayores a 0. Debido a que existían radiaciones de onda corta entrante y saliente negativas, se decidió arbitrariamente eliminar esos horarios de medición tanto para la radiación de onda corta como para el resto de las variables meteorológicas, manteniendo de esta manera igual número de mediciones de todas las variables.

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los cuatro componentes del balance energético se presentan a continuación:

$$SW_{net} = SW \downarrow - SW \uparrow \quad (1)$$

con $SW \downarrow$: radiación de onda corta entrante

$SW \uparrow$: radiación de onda corta saliente

Radiación de onda corta neta

$$LW_{net} = LW \downarrow - LW \uparrow \quad (2)$$

con $LW \downarrow$: radiación de onda larga entrante

$LW \uparrow$: radiación de onda larga saliente

Radiación de onda larga neta

$$SH = 0.0129C^*P(z)u(z)[T(z) - T_s] \quad (3)$$

con C^* : coeficiente de transferencia

$P(z), u(z)$ y $T(z)$: presión atmosférica, velocidad del viento y temperatura medida en altura z

T_s : temperatura en la superficie

Flujo turbulento de calor sensible

Para el cálculo del calor sensible se asumió el coeficiente de transferencia igual a 0.002 (Hogg et al., 1982) y que la temperatura superficial es de 0°C (glaciar temperado)

$$LH = 0.622\rho_a^o L_v C^* u(z)[e(z) - e_s]/P_o \quad (4)$$

con ρ_a^o : densidad del aire a presión atmosférica estándar

L_v : calor latente de evaporación

C^* : coeficiente de transferencia

$u(z)$ y $e(z)$: velocidad del viento y presión de vapor medida en altura z

e_s : presión de vapor en la superficie

P_o : Presión atmosférica estándar

Flujo turbulento de calor latente

Para el cálculo del calor latente se obtuvieron los valores de $\rho_a^o = 1.29 \text{ kgm}^{-3}$, $L_v = 2.5 \cdot 10^5 \text{ Jkg}^{-1}$, $C^* = 0.002$, $e_s = 611 \text{ Pa}$ y $P_o = 1.013 \cdot 10^5$ desde Cuffey & Patterson, 2010. La presión de vapor fue estimada a partir de la siguiente ecuación:

$$e_s = 2.38 \cdot 10^{11} \cdot e^{\left(\frac{-5400}{T(z)}\right)} \cdot RH \quad (5)$$

RH : humedad relativa

Presión de vapor saturado sobre agua líquida

La humedad relativa para el glaciar exploradores fue obtenida desde Schaefer et al., 2020, cuyo valor es un 87 %.

Los resultados de los componentes del balance energético se resumen en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Componentes del balance energético para el glaciar exploradores. Fuente: elaboración propia.

Variable	min Wm^{-2}	media Wm^{-2}	max Wm^{-2}
$SW \downarrow$	0.19	284.15	1214.00
$SW \uparrow$	0.01	56.82	293.70
SW_{net}	0.003	227.33	1057.50
$LW \downarrow$	281.90	359.97	421.00
$LW \uparrow$	332.50	355.38	394.90
LW_{net}	-63.20	4.59	53.30
SH	-0.84	96.21	386.35
LH	-1.86	74.07	418.59

b) Variación de los componentes del balance energético: caso puntual.

Grafique la variación de los cuatro componentes del balance energético superficial durante un día de su libre elección. Comente las variaciones observadas..

El día seleccionado para analizar la variación de los componentes del balance energético fue el 23 de febrero, debido a que es el cumpleaños de mi único hermano. El gráfico se presenta en la **Figura 1**. Afortunadamente el día seleccionado tiene un comportamiento peculiar, debido a que a diferencia de la tendencia general la radiación de onda larga tanto entrante y saliente es mayor que la radiación de onda corta. Este comportamiento se podría explicar por un día nublado que no permita que la radiación de onda corta llegue en su magnitud máxima al glaciar. De todas maneras se puede notar como a medida que avanza el día la radiación de onda corta va aumentando hasta alcanzar un máximo a las 3:00pm.

Respecto al flujo de calor sensible, el día nublado no fue lo suficientemente frío como para que el glaciar tuviese flujos negativos que entregara calor sensible a la atmósfera.

Respecto al flujo de calor latente, los valores positivos indican que la atmósfera entregó humedad al glaciar, lo que es consecuente con un día nublado.

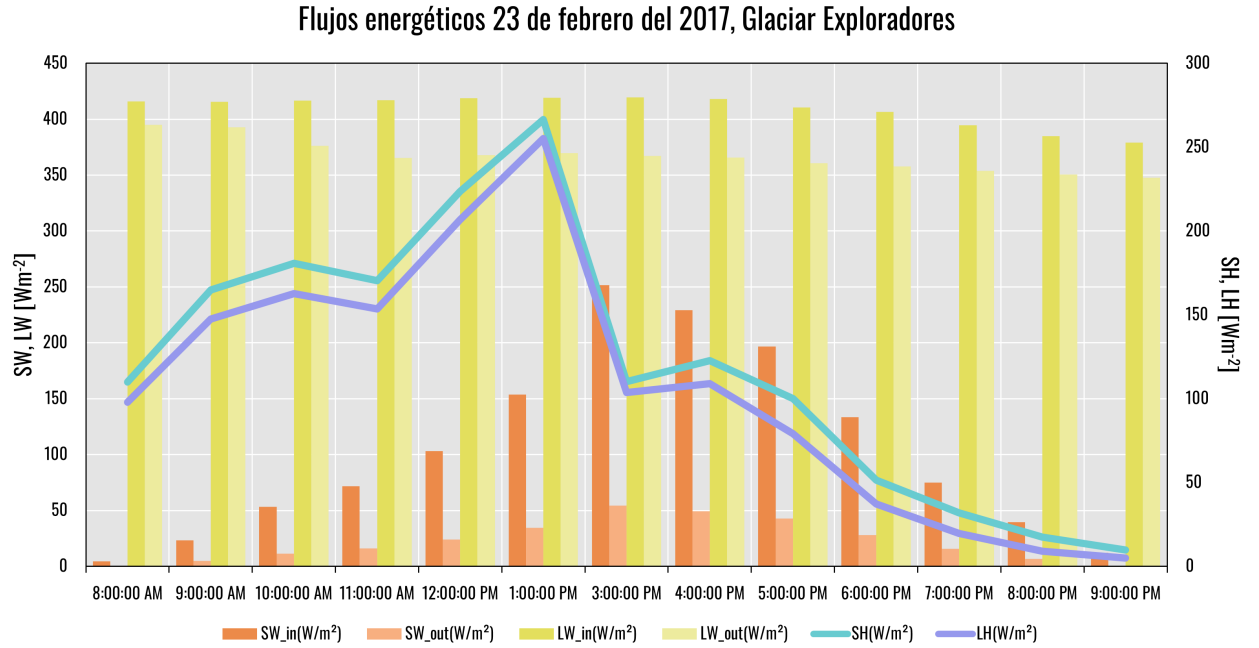


Figura 1. Variación de componentes de balance energético, 23-feb-2017. Fuente: Elaboración propia.

c) Albedo.

Calcule el albedo promedio de la superficie. ¿Qué indica este valor sobre la superficie del glaciar?.

Para el cálculo del albedo se consideraron las horas de mayor radiación solar, asumiendo que esto ocurre entre 10:00-15:00 hrs. Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$\alpha = 1 - \frac{SW_{net}}{SW_{in}} \quad (6)$$

Albedo

El valor del albedo promedio de los tres meses de medición resultó en $\alpha = 0.20$, el cual en base a la **Figura 1** se trata de una superficie de hielo rica en detritos. Esto tiene sentido primero que todo porque se está analizando el albedo en el periodo de ablación (enero a marzo) en donde es hielo lo que está expuesto en la superficie, además de que al explorar imágenes de la zona más accesible al glaciar (donde se asume está la estación) se puede corroborar la alta presencia de detritos en la zona, tal como se ilustra en la **Figura 2**.

Table 5.2: Characteristic values for snow and ice albedo, from a literature review by S.J. Marshall.

Surface type	Recommended	Minimum	Maximum
Fresh dry snow	0.85	0.75	0.98
Old clean dry snow	0.80	0.70	0.85
Old clean wet snow	0.60	0.46	0.70
Old debris-rich dry snow	0.50	0.30	0.60
Old debris-rich wet snow	0.40	0.30	0.50
Clean firn	0.55	0.50	0.65
Debris-rich firn	0.30	0.15	0.40
Superimposed ice	0.65	0.63	0.66
Blue ice	0.64	0.60	0.65
Clean ice	0.35	0.30	0.46
Debris-rich ice	0.20	0.06	0.30

Figura 2. Valores de albedo según tipo de superficie. Fuente: Cuffey & Patterson, 2010.



Figura 3. Glaciar Exploradores. Fuente: Carmel Horowitz.

d) Fuente principal de energía.

¿Cuál fue la fuente de energía mas grande del glaciar durante el periodo de medición en verano 2017?

Analizando la **Tabla 1** se puede observar que si bien en promedio la $LW \downarrow$ es la que aporta en magnitud mayor energía (359.97 Wm^{-2} emitida por partículas en la atmósfera) a su vez la superficie también entrega gran cantidad de radiación de onda larga (-355.38 Wm^{-2}). Por tanto, al observar las radiaciones netas es indiscutiblemente la radiación solar quien entrega la mayor fuente de energía para el derretimiento, con una magnitud de 359.97 Wm^{-2} que es de un orden de magnitud mayor que el resto de los componentes del flujo energético, seguido luego por $SH = 96.21 \text{ Wm}^{-2}$, $LH = 74.07 \text{ Wm}^{-2}$ y finalmente LW_{net} con 4.59 Wm^{-2} .

e) Estimación deshielo

¿Cuánto derretimiento de nieve/hielo durante el periodo de medición predice el cálculo del balance energético?.

Producto que se asumió que la superficie del glaciar se encuentra a 0°C, la estimación del derretimiento glacionival se obtiene directo de la ecuación 7 (considerando la E_N promedio de todo el periodo). Esta entrega una tasa de 10 $cmw.eqd^{-1}$, es decir, en el punto de medición el balance energético en el glaciar exploradores resulta en un derretimiento de 9.36 $mw.eq$.

$$\dot{m} = \frac{E_N}{\rho_w L_f} \cdot 8.64 \cdot 10^6 \quad (7)$$

ρ_w : densidad del agua

L_f : Calor latente de fusión

Tasa de deshielo considerando capa de hielo/nieve en punto de fusión y sin recongelamiento, en cm/d

Bibliografía

- Cuffey, K. M., & Paterson, W. S. B. (2010). The physics of glaciers. Academic Press.
- Schaefer, M., Fonseca-Gallardo, D., Farías-Barahona, D., & Casassa, G. (2020). Surface energy fluxes on Chilean glaciers: measurements and models. The Cryosphere, 14(8), 2545-2565.