

RECONSTRUCCIONES PALEOCLIMÁTICAS DEDUCIDAS DE LA GEOMORFOLOGÍA GLACIAR Y REGISTROS DE LA GUADARRAMA MONITORING NETWORK INITIATIVE (GUMNET)

Jose Úbeda Palenque⁽¹⁾

(1) Grupo de Investigación en Geografía Física de Alta Montaña (GFAM). Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid.
joseubeda@ghis.ucm.es

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La evolución de los glaciares tropicales es un factor clave para obtener una comprensión global del cambio climático (Kaser & Osmaston, 2002), al igual que la de los paleoglaciares de las regiones mediterráneas (Hughes & Woodward, 2008). Los datos deducidos del análisis de las evidencias geomorfológicas generadas por la evolución de las masas de hielo proporcionan información paleoclimática sincrónica procedente de diferentes latitudes, permitiendo conocer el funcionamiento de la dinámica de la atmósfera en el pasado y por lo tanto su evolución en el espacio y en el tiempo.

Recientemente se han desarrollado métodos para evaluar el impacto del cambio climático en el sistema de glaciares que recubren el complejo volcánico Nevado Coropuna (Andes Tropicales de Perú), en el pasado (Último Máximo Glacial-LGM y Pequeña Edad del Hielo-PEH), el presente y el siglo XXI (Úbeda, 2011). El glaciario de la Sierra de Guadarrama ha sido exhaustivamente descrito en numerosos trabajos, aunque su cronología absoluta no se ha determinado hasta mucho más recientemente. La creación de GUMNET durante 2012, con financiación del Campus de Excelencia Internacional CEI-Moncloa, va a proporcionar datos muy precisos del clima actual en esa región. Por otra parte, la disponibilidad de edades de exposición a la radiación cósmica (*Surface Exposure Dating-SED*) de las formas morrénicas generadas durante el LGM en el macizo de Peñalara sugiere que los paleoglaciares alcanzaron su última máxima expansión entre 21 y 19 ka (Palacios et al., 2011).

En este trabajo se describen los métodos diseñados en el Nevado Coropuna, que van a ensayarse en la Sierra de Guadarrama con los datos que proporcionará GUMNET.

El objetivo general del proyecto de investigación será contribuir incrementar el conocimiento de la evolución y dinámica del sistema climático global con información procedente de diferentes latitudes.

Las áreas de experimentación presentan diferencias notables. En la región tropical, a causa de su extrema aridez, los glaciares existen todavía y constituyen el almacén del que depende el abastecimiento de la población y sus actividades económicas. La región mediterránea carece en la actualidad de masas de hielo y las reservas se renuevan

exclusivamente en forma de precipitaciones. Sin embargo, las formas de origen glaciar del Nevado Coropuna y Peñalara guardan un valioso registro paleoclimático que ofrece los instrumentos necesarios para alcanzar el objetivo de la investigación.

La vegetación potencial actual ha sido determinada con precisión en todas las regiones de la Península Ibérica, incluyendo la Sierra de Guadarrama (Rivas Martínez, 1987). Una de las hipótesis es que la disponibilidad de reconstrucciones paleoclimáticas debe permitir conocer la vegetación potencial durante el LGM, empleando los mismos métodos aplicados al presente. Esa posibilidad proporcionará las herramientas para validar o desestimar la metodología, y puede servir para calibrar los registros polínicos eliminando las distorsiones debidas a la dispersión diferencial de las semillas.

2. METODOLOGÍA

Para observar la evolución de glaciares y paleoglaciares es necesario caracterizar las masas de hielo en diferentes fases utilizando indicadores que reflejen sus cambios en el espacio y en el tiempo. El parámetro que mejor cumple esa función es la altitud de la línea de equilibrio, conocido por el acrónimo de su denominación anglosajona: ELA (*Equilibrium Line Altitude*). La ELA es una isolínea que separa la zona de acumulación, donde predominan los procesos de ganancia de masa, y la zona de ablación, donde se generalizan los fenómenos de pérdida de masa del glaciar. Aunque la reconstrucción de las ELAs y paleoELAs puede realizarse empleando diversas técnicas, el método *Area x Altitude Balance Ratio-AABR* (Osmaston, 2005) es el que ofrece mejores resultados (Benn et al., 2005).

El procedimiento que se va a aplicar en la Sierra de Guadarrama, adaptado de Úbeda (2011), consta de 10 fases:

-**Fase 1. Monitorización del área de experimentación:** delimitación de los paleoglaciares y sus intervalos altitudinales. Instalación y seguimiento de estaciones para medir las variables implicadas en las ecuaciones 1-3.

-**Fase 2. Reconstrucción de las paleoELAs:** en primer lugar se estiman las paleoELAs por el método *Area x Altitude*, usando la ecuación:

$$PaleoELA = \frac{\sum(Z \times S)}{\sum S} \quad (1)$$

PaleoELA: altitud de la línea de equilibrio. Z: altitud media de cada intervalo altitudinal (m). S: superficie (m²) de cada intervalo altitudinal del glaciar.

A continuación se construyen series de datos con las estimaciones de las paleoELAs vinculadas con un mismo valor de Balance Ratio (BR) y se calculan el promedio y la desviación típica de cada serie. El promedio vinculado con el menor valor de la desviación típica es la estimación más probable de la paleoELA (Osmaston, 2005).

-**Fase 3. Cálculo de gradientes térmicos (°C/m) y pluviométricos (mm/m) ver-**

ticales: relacionando la diferencia de los promedios anuales de temperatura (°C) y precipitación (mm) en dos estaciones (a y b) con el desnivel (m) existente entre ambas.

-**Fase 4. Elaboración de un modelo de la distribución altitudinal actual de la temperatura y la precipitación:** introduciendo los gradientes térmicos (°C/m) y pluviométricos (mm/m) verticales en un modelo digital del terreno (MDT).

-**Fase 5. Evaluación de la depresión de las paleotemperaturas:** aplicando en el MDT el producto de la depresión de la paleoELAs (m) y los gradientes térmicos (°C/m) verticales. La ecuación ha dado buenos resultados en los Andes Tropicales (Úbeda, 2011), coherentes con proxies paleoclimáticos y los informes sobre el cambio Climático (IPCC, 2007).

-**Fase 6. Modelo del balance de masa de los paleoglaciares:** usando las ecuaciones empleadas en los Andes Centrales por Klein et al (1999) en todos los niveles comprendidos entre las altitudes máxima y mínima alcanzada por las masas de hielo (con una equidistancia de 1 m).

$$b = c - a \quad (2)$$

$$a = (\dot{m} \div Lm) \times (Ta - Ts) \quad (3)$$

b: balance de masa (mm); a: ablación (mm); c: acumulación (mm). : duración del periodo de ablación (días/año). Lm: calor latente de fusión ($3,34 \times 10^6$ J/kg). \dot{m} : coeficiente de masa transferida por calor sensible ($1,5$ MJ/m²/día). Ta: temperatura media anual del aire (°C); Ts: temperatura media anual del suelo (°C). El orden de los sumandos de la ecuación 2 depende de la aridez (Úbeda, 2011).

-**Fase 7. Evaluación de la paleoprecipitación:** ensayando sucesivamente diferentes valores hasta que el balance de masa (b) se equilibre en el nivel de la paleoELA, como debió suceder durante el LGM.

-**Fase 8. Determinación de las SED de las fases de expansión glacial y deglaciación:** mediante el recuento de los isótopos de cloro-36 presentes en unidades geomorfológicas generadas por lo paleoglaciares. Recientemente se han publicado las primeras SED para Peñalara (Palacios et al., 2011).

-**Fase 9. Evaluación de la vegetación potencial:** construcción de diagramas bioclimáticos siguiendo los procedimientos de Rivas Martínez (1987).

-**Fase 10. Discusión:** comparación de los resultados con registros polínicos y proxies paleoclimáticos.

3. AGRADECIMIENTOS

El proyecto de investigación se realizará gracias a la cooperación científica del consorcio de entidades que conforman GUMNET, el GFAM y la ONG Guías de Espeleología y Montaña, con el apoyo de la empresa pública Canal de Isabel II.

4. REFERENCIAS

- Benn, D. I., Owen, L. A., Osmaston, H. A., Seltzer, G. O., Porter, S. C., Mark, B. G., 2005. Reconstruction of equilibrium-line altitudes for tropical and sub-tropical glaciers. *Quaternary International*, 138-139 (2005): 8-21.
- Hughes, P.D., Woodward, J.C., 2008. Timing of glaciation in the Mediterranean mountains during the last cold stage. *Journal of Quaternary Science*, 23: 575-588.
- IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 104 pp.
- Kaser, G., Osmaston, H., 2002. *Tropical Glaciers*. International Hydrology Series. Cambridge University Press, 207 pp.
- Klein, A.G., Seltzer, G.O., Isacks, B.L., 1999. Modern and Last Local Glacial Maximum snowlines in the Central Andes of Peru, Bolivia, and Northern Chile. *Quaternary Research Reviews*, 18: 3-84.
- Osmaston, H., 2005. Estimates of glacier equilibrium line altitudes by the Area x Altitude, the Area x Altitude Balance Ratio and the Area x Altitude Balance Index methods and their validation. *Quaternary International*, 22-31: 138-139.
- Palacios, D; Andrés, N; Marcos, J., Vázquez-Selem, L., 2011. Glacial landforms and their paleoclimatic significance in Sierra de Guadarrama, Central Iberian Peninsula. *Geomorphology*, 139-140: 67-78.
- Rivas-Martínez, S. (1987). Memoria del mapa de series de vegetación de España 1:400.000. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 268 pp.
- Úbeda, J., 2011. El impacto del cambio climático en los glaciares del complejo volcánico Nevado Coropuna (cordillera occidental de los andes, Sur del Perú), Universidad Complutense de Madrid, 558 pp.