

# Les valls d'Andorra: hereves d'antigues glaceres

*Ramon Copons i Llorens*



## 1. Introducció

El relleu de les valls d'Andorra és el resultat de l'acció de diferents processos naturals i de l'acció de l'home. En aquest treball definim un procés natural com a tota acció natural que, al llarg dels anys, esculpeix i dona forma al relleu terrestre. Exemples de processos naturals que avui en dia podem observar en el nostre entorn són els rius, les allaus de neu, les esclavissades, els desprendiments, entre d'altres.

Els aspectes més rellevants del paisatge d'Andorra són, d'una banda, la presència de valls amples amb fons relativament suaus i, de l'altra, l'existència de cims sovint escarpats i envoltats per parets rocoses.

L'origen de les valls amples i dels cims escarpats cal atribuir-los a l'acció erosiva d'antigues glaceres que ocupaven part del territori andorrà. L'acció glacial és un procés natural avui inexistent però que en el passat va ser fortament actiu i que va perdurar al llarg de molts milers d'anys. Així, el relleu de les muntanyes andorranes és l'hereu de l'acció glacial que va presentar la seva màxima expressió ara fa 20.000 anys. En aquells anys, grans llengües de gel de desenes de quilòmetres de llargada i de centenars de metres de gruix ocupaven les valls andorranes.

L'objectiu d'aquest article és acostar el lector al món de les glaceres andorranes. Primer, es comença per una breu descripció d'una glacera. Segon, es tracta breument sobre els canvis climàtics que han donat lloc a les glaciacions. Finalment, es realitza un viatge en el temps per veure l'extensió i els gruixos de les glaceres andorranes durant l'última glaciació quaternària, ara fa uns 20.000 anys. En aquest viatge seguirem el retrocés d'aquestes glaceres fins a la seva desaparició total, ara fa uns 10.000 anys.

## 2. Les glaceres de muntanya

Les glaceres de muntanya són masses de gel continental que s'escolen vessant avall per l'efecte de la gravetat. En els llocs més elevats de les muntanyes, la precipitació de neu acumulada durant l'hivern no s'arriba a fondre del tot per la calor de l'estiu. En aquells sectors més elevats, any rere any s'acumulen grans gruixos de neu que es van transformant en el gel glacial. Un cop format el

gel glacial, comença a desplaçar-se molt lentament vessant avall amb velocitats que arriben a ser de metres a desenes de metres per any. Aquest moviment, lent però potent, té una alta capacitat erosiva, que arrenca les roques del substrat i les incorpora dins la seva massa glacial. Quan la glacera arriba a sectors suficientment baixos, la calor augmenta i la precipitació nival disminueix, llavors el gel comença a fondre's i la glacera perd volum. Llavors, la glacera comença a sedimentar les roques que transporta a mesura que el volum de gel comença a disminuir.

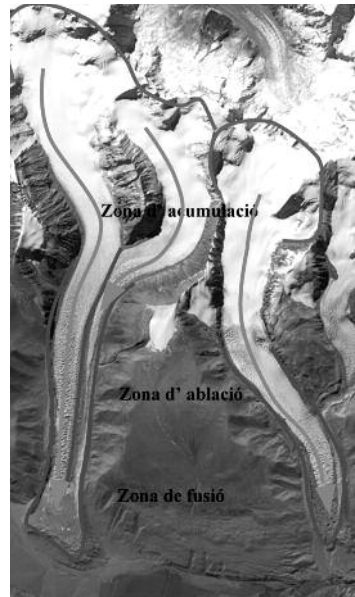
Avui en dia, els Pirineus tenen petites glaceres en els massissos que superen els 3.000 metres d'altitud, les quals estan manifestant un fort retrocés a causa de l'escalfament climàtic actual. En altres massissos, com és el cas dels Alps a Europa o de l'Himàlaia a l'Àsia, les glaceres de muntanya són exuberants, amb llengües de glaç de diverses desenes de quilòmetres de llargada.

Si agafem com a exemple una imatge de satèl·lit de la glacera de Bhutan, a l'Himàlaia (figura 1), es pot observar que té dues parts ben diferenciades: la zona d'acumulació i la zona d'ablació.

A la zona d'acumulació, situada a la capçalera de les valls, el gel glacial es genera per l'acumulació any rere any de la neu que no es fon durant l'estiu; en aquest lloc el gel està sempre cobert neu. El gel glacial acostuma a néixer dins dels circs glacials. Un circ glacial és una depressió muntanyosa semicircular situada a la capçalera de les muntanyes la qual està envoltada per crestes rocoses (figura 1).

A la zona d'ablació, o de fusió de la neu, el gel queda al descobert i va perdent volum a mesura que va baixant per les valls. En la zona d'ablació, les glaceres acostumen a estar confinades a l'interior de les valls. En la imatge satèl·lit de la figura 1, la glacera mostra el seu gel viu de color blau amb formes similars a una llengua allargada.

Les glaceres de muntanya són molt sensibles als canvis climàtics. Un augment de les temperatures i/o una disminució en la precipitació nival genera una disminució del gruix i de la superfície glacial, fet que comporta un retrocés del front glacial. Quan el retrocés glacial deixa al descobert una vall, acostuma a tenir un perfil transversal en forma de 'U' amb un fons relativament ample i amb uns vessants laterals de fort pendent. El retrocés glacial també deixa al descobert els sediments glacials que acostumen a tenir unes formes molt particulars, anomenats *morrenes*. Una morrena és una forma constituïda per materials arrencats, transportats i sedimentats per una glacera, la qual conserva la morfologia original. En la imatge de satèl·lit (figura 1) es pot apreciar una morrena que presenta morfologies similars a *cordons* que ressegueixen el límit de la glacera en la màxima extensió.



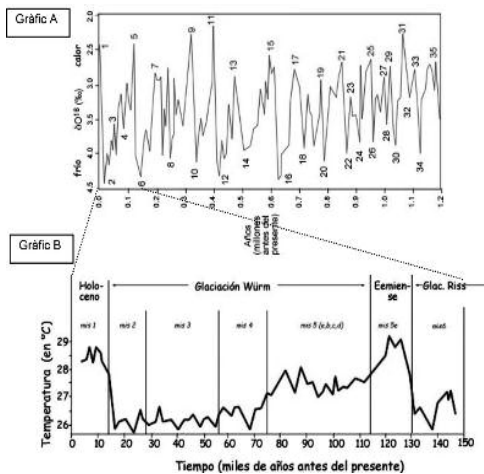
**Figura 1:** Imatge d'unes glaceres del Bhutan a l'Himàlaia on es pot distingir la zona d'acumulació nival que es veu de color blanc i la zona d'ablació que té un color més blau. La direcció del moviment del gel es representa a través de les fletxes de color lila. La línia verda ressegueix els circs glacials, mentre que les línies vermelles ressegueixen les morrenes. (Imatge extreta d'<http://visibleearth.nasa.gov>)

### 3. Els canvis climàtics quaternaris

El quaternari és un interval de temps geològic que comprèn, aproximadament, els darrers 1,6 milions d'anys de la història de la Terra. Dues són les característiques del quaternari que les fa diferents a d'altres intervals de temps geològics: la presència de l'home i l'existència de grans canvis climàtics que donen lloc a les glaciacions.

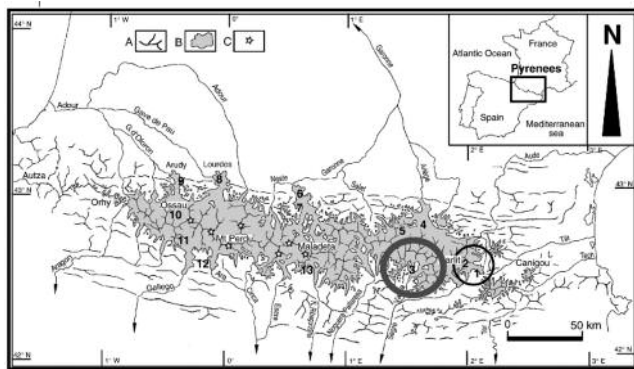
A escala global, existeixen diferents glaciacions separades per episodis interglacials (figura 2). Durant les glaciacions, hi ha disminucions de temperatures que condueixen a l'aparició de glaceres. En els cas dels Pirineus, les glaceres van ocupar les xarxes fluvials pirinenques eixamplant el fons de les valls durant els períodes glacials. Mentrestant, durant els episodis interglacials, hi ha augments de les temperatures que provoquen un retrocés glacial que condueixen a la pràctica desaparició de les glaceres. Aquests cicles tenen magnituds i conseqüències no necessàriament iguals a tot el món. En aquest marc de grans variacions climàtiques a escala mundial, avui en dia no es tenen dades precises sobre el nombre de períodes glacials manifestats als Pirineus ni de la seva repercussió.

L'última glaciació pirinenca, anomenada amb el terme de glaciació Würm, va perdurar durant uns 100.000 anys. Ara fa uns 20.000 anys les glaceres van manifestar la seva màxima extensió. Al Principat d'Andorra, i en general a la zona axial pirinenca, les glaceres de muntanya van ocupar grans parts del territori. Les extensions d'aquestes antigues glaceres pirinenques van ser similars a les que avui en dia trobem a l'Himàlaia. Al vessant nord dels Pirineus, les glaceres presentaven longituds superiors als 50 quilòmetres i arribaven a la conca d'Aquitània. Al vessant sud dels Pirineus, les glaceres acostumaven a tenir una longitud compresa d'entre 20 i 30 quilòmetres amb els fronts situats entre els 800 i 1.000 metres d'altitud i quedaven confinades dins les mateixes valls pirinenques (figura 3). L'extensió i el gruix de les glaceres durant la glaciació de fa 20.000 anys s'ha pogut definir amb certa exactitud gràcies a la cartografia i l'estudi de les antigues morrenes glacials.



**Figura 2.** Gràfic A: canvis climàtics a escala mundial en l'últim milió d'anys a partir del contingut de l'isòtop  $^{18}O$  en les conques de foraminífers en sediments marins. Com més concentració d'aquest isòtop, més baixes són les temperatures. Els interglacials càlids queden representats amb nombres vermells (1, 5, 7...), i els glacials freds en nombres blaus (2, 6, 10...). Gràfic B: temperatures de l'aigua superficial en el Pacífic equatorial occidental, estimades a partir de l'anàlisi Mg/Ca dels foraminífers planctònics, en els darrers 150 ka. Vegeu com queden ben representats els canvis climàtics esdevinguts les dues últimes glaciacions (Riss i Würm) i els interglacials del plistocè (eem ià) i de l'holocè. (imatges extretes d'<http://homepage.mac.com/uriarte/historia.html>)

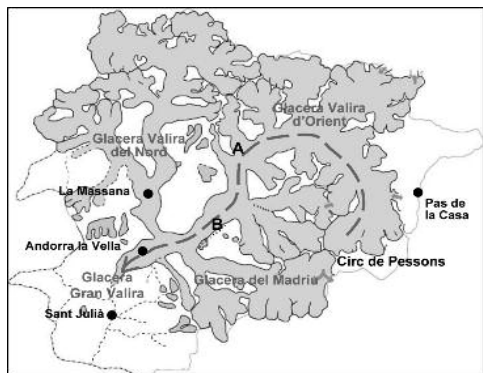
**Figura 3.** Extensió de les glaceres durant l'últim màxim glacial quaternari segons Delmas et al. (2008). (Llegenda. A: principals divisòries d'aigües; B: glaceres, i C: massissos amb glaceres actuals). Amb un cercle vermell es marca la zona on se situa el Principat d'Andorra (3).



### 3. L'última glaciació quaternària al Principat d'Andorra

A les valls d'Andorra existeixen multitud de formes d'origen glacial heretades d'antigues glaceres quaternàries. L'estudi de les formes glacials permet explicar l'evolució del relleu d'Andorra des del darrer màxim glacial fins a l'actualitat.

A Andorra, l'estat del coneixement científic actual fa pensar que la màxima extensió glacial possiblement va arribar ara fa uns 20.000 anys, moment més fred de la glaciació Würm (figura 2). En aquest moment gran part del territori andorrà estava cobert per gel (figura 4). Les glaceres de la Valira d'Orient, la Valira del Nord i la del Madriu conflüen en la cubeta d'Andorra la Vella per formar la glacera de la Gran Valira, que va arribar a assolir un gruix de fins a 500 metres i una longitud de 32 km. En aquella època, llargues llengües de gel discorrien a través de les valls andorranes i les capçaleres de les valls estaven cobertes per una gran massa de gel que tan sols deixava al descobert les parets dels circs glacials, els seus pics i les superfícies d'erosió. En un context com aquest, el gel podia fàcilment sobreexir pels colls de muntanya i transvarar d'una conca cap a una altra.

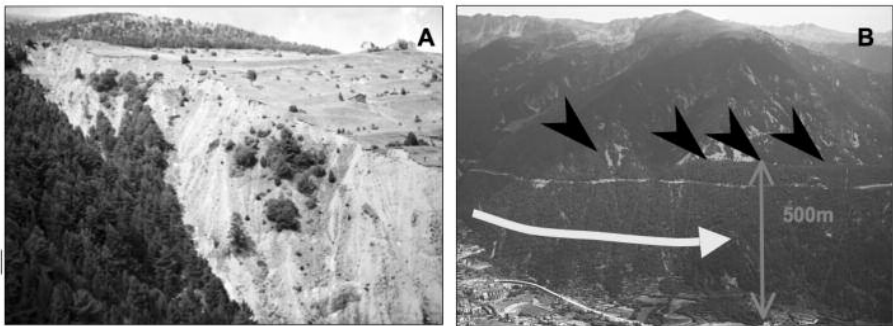


**Figura 4.** Esquema de la reconstrucció del màxim glacial al Principat d'Andorra. La línia vermella indica la longitud màxima de les glaceres, que va ser d'uns 32 km des del circ de Pessons fins a la zona de la Margineda. Les fletxes blaves indiquen les zones dels colls de muntanya on el gel podia transvarar d'una vall a l'altra. Les lletres A i B indiquen els punts on corresponen les imatges A i B de la figura 5.

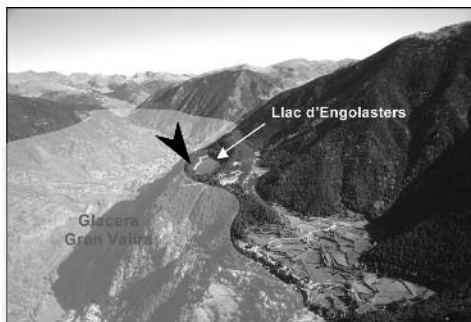
Al Principat d'Andorra podem trobar alguns dipòsits associats a aquest màxim glacial; concretament se n'exposen dos exemples: un a la zona de Canillo i un altre a l'obaga d'Encamp (imatges A i B de la figura 5).

El dipòsit glacial que aflora a prop de Canillo (imatge A de la figura 5) és un dipòsit de grans dimensions amb un sediment poc classificat amb un ampli ventall de mides de gra (de blocs a sorres). Aquest dipòsit es troba a uns 300 metres del fons actual de la vall, cosa que ens indica el gruix que tenia la glacera al seu pas per Canillo.

Els dipòsits que afloren a l'obaga d'Encamp formen una morrena lateral associada al màxim glacial (indicat amb fletxes negres a la imatge B de la figura 5) que arriba fins a l'obaga d'Andorra la Vella i, fins i tot, aigües avall de la Comella. Aquests dipòsits es troben a uns 500 metres d'alçada per sobre del nivell actual de la vall, la qual cosa indica el gruix màxim que tenia la glacera.



**Figura 5.** A la imatge A es pot veure un dipòsit corresponent a una morrena lateral de la glacera de la Valira d'Orient a l'altura de Canillo (ubicació figura 4) que es troba a uns 300 metres de la base actual de la vall. A la imatge B, les fletxes negres ens indiquen el límit superior de la morrena lateral de la glacera de la Valira d'Orient a l'altura d'Encamp (ubicació figura 4), que es troba a uns 500 metres de la base actual de la vall.



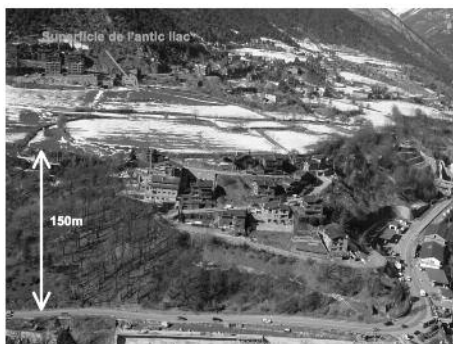
**Figura 6.** Recreació aproximada de la glacera de la Gran Valira durant el màxim glacial a l'altura d'Escaldes-Engordany, amb un color blau semitransparent que ens permet veure'n el relleu actual. Amb una fletxa negra s'indica la cresta de la morrena lateral de la glacera.

Posteriorment a l'últim màxim glacial quaternari, les glaceres van començar a retrocedir de forma relativament ràpida a causa de l'escalfament climàtic d'origen natural. El retrocés glacial va començar amb la desconexió de la glacera de la Valira del Nord amb la de la Gran Valira. La glacera de la Valira del Nord va retrocedir fins a tenir el front glacial aigües amunt de la Massana i va quedar aquest sector descobert del gel. Mentrestant, la glacera de la Gran Valira seguia alimentada per les glaceres de la Valira d'Orient i Madriu i, per tant, ocupant la cubeta d'Andorra la Vella. En un context com aquest, la glacera de la Gran Valira va fer un barratge al riu Valira del Nord, i en conseqüència, es va generar un llac situat a l'actual població de la Massana (figura 7).



**Figura 7.** Esquema de la reconstrucció de la primera etapa del retrocés glacial al Principat d'Andorra. Es pot veure que la primera glacera en retrocedir va ser la de la Valira del Nord. Contemporàniament, la glacera de la Gran Valira va fer de barratge de les aigües de fusió de la glacera de la Valira del Nord i es va formar un llac a la zona de la Massana.

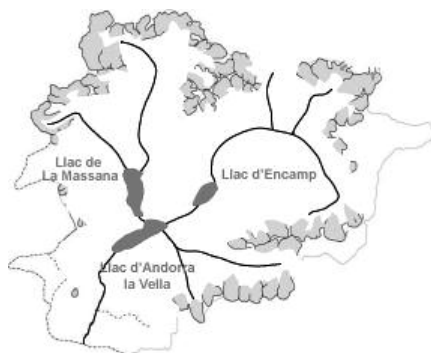
Aquesta situació es podria haver mantingut durant un temps suficientment llarg, de diversos milers d'anys, fins que la glacera de la Gran Valira va manifestar un important retrocés i va deixar al descobert la cubeta d'Andorra la Vella. En aquest moment es van evacuar les aigües del llac de la Massana, que ja estava pràcticament replet de sediments (figura 8) i es va formar un altre llac a la zona d'Andorra la Vella (figura 9).



**Figura 8.** Imatge del sector sud de la Massana, on es pot apreciar la superfície de l'antic llac que correspon als plans de Sispony, a més del gruix de sediments lacustres d'uns 150 metres. Aquesta imatge pot donar una idea de les dimensions i de l'entitat del llac de la Massana.



**Figura 9.** Reconstrucció aproximada del llac que cobria la zona d'Andorra la Vella.



**Figura 10.** Reconstrucció del Principat d'Andorra a l'època compresa entre ara fa uns 13.000 i 10.000 anys aproximadament. Es pot observar que les glaceres queden relegades a l'interior dels circs glacials.

El continu retrocés glacial vessant amunt va anar exhumant les amples valls andorranes i, en alguns sectors, es van formar petits llacs glacials, com és el cas del sector d'Encamp. Aquest retrocés glacial va continuar fins que el gel va quedar relegat als circs i en alguns sectors de les valls més elevades ara fa entre uns 13.000 anys (figura 10). Malgrat les difícils condicions de preservació del gel, les petites glaceres van ocupar els circs durant un període de temps relativament perllongat.

L'última pulsació freda podria haver tingut lloc ara fa aproximadament uns 11.000 anys. Aquesta pulsació freda i molt seca va donar lloc a un tipus especial de glaceres, anomenades *glaceres rocalloses* (figura 11). Les glaceres rocalloses són masses constituïdes per blocs rocosos envoltats per gel glacial. Les condicions molt fredes afavoreixen la fragmentació dels cossos rocosos per l'acció gel-desgel; mentrestant les condicions seques no faciliten la formació d'una quantitat rellevant de gel. La més gran proporció de blocs respecte al gel glacial afavoreix la preservació de la forma original de la glacera posteriorment a la fusió total del gel. Gran part dels circs glacials d'Andorra mostren magnífiques restes de glaceres rocalloses (figura 11), les quals ens fan imaginar les enormes forces del glaç.



**Figura 11.** Imatge actual del circ de la Portelleta, situat a la capçalera de la vall del Madriu. En aquesta imatge es poden veure una sèrie de dipòsits rocosos amb formes lobulars que corresponen a les glaceres rocalloses generades ara fa uns 11.000 anys.

Fa aproximadament uns 10.000 anys les temperatures van augmentar sobtadament, fet que va conduir a la total fusió del poc gel que restava a Andorra en aquell moment. Amb aquest nou augment de temperatures es dona per finalitzada la darrera glaciació Würm, que ens ha deixat un exuberant relleu glacial.

#### **4. Consideracions finals**

L'etapa final de la història de la Terra, que es coneix amb el nom de quaternari, està caracteritzada per la presència de grans canvis climàtics d'origen natural. Durant el quaternari hi ha hagut múltiples glaciacions que han cobert de glaceres part dels Pirineus. La darrera glaciació quaternària, coneguda amb el nom de Würm, va ser especialment important als Pirineus, ja que va formar glaceres que van superar els 50 quilòmetres.

A les valls d'Andorra, la glaciació Würm podria haver perdurat uns 100.000 anys, fet que va propiciar la formació de glaceres i un important avenç glacial. La màxima extensió glacial es podria haver produït ara fa uns 20.000 anys, moment en què la glacera de la Gran Valira podria haver assolit la màxima extensió. Posteriorment, les glaceres van retrocedir de forma relativament ràpida fins a quedar relegades a les parts més elevades de les muntanyes, ara fa uns 13.000 anys. La darrera pulsació freda de la glaciació Würm va tenir lloc ara fa uns 11.000 anys enmig d'un ambient molt fred i sec que va formar glaceres rocalloses, les quals són visibles en múltiples circs andorrans. Ara fa uns 10.000 anys, un nou augment de les temperatures va propiciar la desaparició total del gel glacial a Andorra.

Durant tota la història glacial, les glaceres han deixat empremtes en el relleu de les valls d'Andorra. Aquestes empremtes estan representades per amples valls glacials, circs glacials, morrenes i glaceres rocalloses, entre d'altres. En aquest treball s'han mostrat alguns exemples d'empremtes glacials a Andorra de les múltiples que n'existeixen. Totes aquestes empremtes glacials poder ser fàcilment identificables per qualsevol observador, el qual pot imaginar i interpretar un món glacial avui en dia desaparegut. Sens dubte, l'exuberància de les formes glacials, la seva preservació i accessibilitat fan que Andorra pugui tenir un atractiu per al turisme de natura.

**Ramon Copons i Llorens,**

doctor en ciències geològiques i director tècnic del Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra (CENMA-IEA)