

# Possibles influències de la NAO (North Atlantic Oscillation) sobre els recursos hídrics històrics a les Valls d'Andorra

*Alan Ward i Koeck*



## Resum

En aquest treball s'examinen les possibles conseqüències que podria haver tingut la NAO sobre la pluviometria a Andorra. També s'examinen més breument les seves conseqüències sobre l'ús antròpic dels recursos hídrics (treball mecànic i abastiment d'aigua).

## Presentació

En l'estudi de l'evolució del clima, un dels aspectes en què s'han centrat els esforços correspon a una de les seves manifestacions més sensibles als nostres sentits: els canvis de la temperatura. També és així quan es parla del canvi climàtic dels temps recents, que es caracteritza típicament pel seu efecte de pujada de les temperatures (d'escalfament). Tot i això, cal tenir present que les evolucions del registre de temperatures potser no en seran la manifestació amb més repercussions sobre l'activitat humana. Podem pensar en altres efectes del canvi climàtic (augment del nivell del mar, increment de les freqüències d'aparició de fenòmens meteorològics extrems) que poden condicionar més la nostra manera de viure.

Pel que fa a l'estudi dels paleoclimas a escala europea, també s'ha emprat el criteri de la temperatura per distingir diferents èpoques dins de l'evolució del clima (figura 1). Així:

-El període entre els segles IV a VIII aproximadament, anomenat *Dark Ages Cold Period*. És un període relativament fred al continent europeu.

-El període que correspon als segles X a XIII aproximadament, que es qualifica de *Medieval Warm Period*. Es caracteritza per temperatures relativament altes, comparables en tot cas a les de les dècades dels anys 1950 i 1960. Se sap que va correspondre a un moment d'alta activitat solar, el *Medieval Maximum*.

-El període que comprèn els segles XVI a XIX aproximadament es qualifica de *Little Ice Age*. Es caracteritza per temperatures inferiors a les actuals, amb pics de fred centrats cap als anys 1650, 1770 i 1850. Almenys dos d'aquests moments corresponen a episodis de baixa activitat solar, el *Mínim de Maunder* (1645-1715), el *Mínim de Dalton* (1790-1830).

-El període actual, o *Modern Maximum*, en què les temperatures no sembla que vulguin parar de créixer, i que comença a partir de l'any 1950 aproximadament.

Aquests grans trets del canvi climàtic eren coneguts ja a partir del registre documental. Ara bé, en el moment en què es varen començar a fer estudis emprant dades de tipus *proxy*,<sup>1</sup> les reconstruccions obtingudes a partir dels treballs seminals de Jones et al. [1] i Mann et al. [2] han deixat entreveure que aquesta classificació per períodes no és absoluta.

Els períodes no varen començar ni acabar exactament en el mateix moment a tot arreu del món; per exemple, sembla que el *Medieval Warm Period* hagi començat almenys entre 50 i 100 anys més aviat a l'Àsia que a Europa.

A tall d'exemple, aquest fet va tenir certes conseqüències sobre les relacions entre el Japó i el continent asiàtic [3].

D'altra banda, la importància de les variacions de les temperatures tampoc no va ser la mateixa en totes les regions. En aquest sentit, existeixen alguns indicis (Luterbacher et al. [4]) d'un desacoblament entre l'evolució de les temperatures marítimes sobre l'Atlàntic del nord i de les temperatures continentals en diferents moments històrics.

Aquest fet tindria repercussions importants pel que fa al nostre coneixement dels paleoclimes d'Andorra. En efecte, en cas que existís el desacoblament, ens permetria entreveure la possibilitat que les temperatures a Andorra durant el *Little Ice Age*, certament més fredes que en l'actualitat o durant l'edat mitjana, no haurien arribat a les caigudes de -6 a -10 °C que s'han documentat en parts d'Europa del nord i central. Molt concretament, no ens esperaríem a trobar indicis del riu Valira gelat de vora a vora durant una bona part de l'hivern, tal com sí que va succeir en diversos ports de mar dels Països Baixos, la qual cosa podem veure en els treballs de pintors de l'escola holandesa com els Brueghel o Hendrick Avercamp.

A causa d'aquest possible desacoblament entre les influències marítimes i continentals en els nostres paleoclimes, i per intentar precisar tant les variacions de temperatura com la importància de les precipitacions a Andorra, ens caldrà examinar la influència de la North Atlantic Oscillation (NAO), i distingir entre els seus possibles efectes sobre el nord d'Europa dels que pugui tenir sobre la península Ibèrica i Andorra.

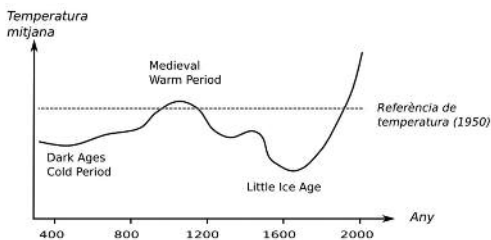


Figura 1. Evolució de la temperatura mitjana des del segle IV

### Descripció i funcionament de la North Atlantic Oscillation

El continent europeu està sotmès –entre d’altres– a dues grans influències climàtiques. Una és la influència de l’anticicló de Sibèria, que cada hivern envia onades d’aire fred cap al centre d’Europa, i que fins i tot ens pot arribar a afectar en les nostres latituds. Durant l’hivern, aquest aire sol ser a la vegada molt sec i extremament fred. La segona influència són les entrades d’aire des de l’Atlàntic, sovint en forma de borrasques i fronts, i que en aquest cas solen ser de temperatura molt més temperada: ni realment fredes, ni tampoc calentes, cosa que mostra l’efecte moderador del mar. Naturalment, sí que solen ser entrades de vent carregat d’humitat i que solen provocar precipitacions.

D'altra banda, l'estructura de l'atmosfera terrestre –dividida en tres cèl·lules de Hadley a cada hemisferi– té una tendència a produir una zona d'altres pressions en superfície, o anticicló, al nivell de la cresta subtropical –cap a 30° de latitud (nord i sud)–. Cap a 60° de latitud, la zona de pujada del *Ferrel Cell* també tendeix a crear una zona de baixes pressions en superfície, o depressió. És així a l'Atlàntic nord, on ens trobem amb l'anticicló de les Açores i la depressió d'Islàndia, respectivament.

Ara bé, la força respectiva d'aquestes dues zones pot variar, i es crea així el que s'anomena la *North Atlantic Oscillation*. Així, quan l'anticicló té molta més força que la depressió d'Islàndia, parlarem d'un any (o d'un hivern) amb índex NAO positiu (o NAO+). L'efecte serà que les depressions atlàntiques que s'encaminin cap a Europa tindran dificultats a baixar gaire cap al sud. Al contrari, mantindran una trajectòria que va gairebé directament cap a l'est i tocaran terra cap a Irlanda o el nord de França. En aquesta situació, el temps del nord d'Europa serà relativament suau, però amb força precipitacions (figura 2).

Per contra, quan la depressió d'Islàndia és més forta, i l'anticicló de les Açores és més dèbil, parlarem d'un any o d'un hivern amb índex NAO negatiu. En aquest cas, la trajectòria de les depressions de l'Atlàntic es desviarà més cap al sud i les borrasques tocaran terra més cap al sud de França o a la península Ibèrica. En aquesta configuració, l'anticicló de Sibèria tindrà més tendència a penetrar cap a l'oest d'Europa, i els hiverns del centre i l'oest del continent podran ser més rigorosos.

A més de la seva força respectiva, els canvis de posició de l'anticicló de les Açores també pot tenir una influència sobre la NAO. És per aquesta raó que podem trobar, no un sol índex NAO, sinó diversos, calculats a partir de les pressions mesurades en diferents estacions meteorològiques.

### Reconstruccions recents de la NAO

Queda, doncs, clar l'interès de reconstruir l'evolució històrica de la NAO pel que fa a la reconstrucció dels paleoclimes europeus. Va ser sobretot a partir de l'any 2001 que la comunitat científica es va dedicar plenament a aquest tema. Així, després de l'esmentat treball de Luterbacher, varen ser Glueck i Stockton [5], i Cook i D'Arrigo [6] els que varen estendre el nostre coneixement de l'evolució històrica de l'índex NAO. En tots dos casos –si bé amb metodologies diferents–, varen establir una reconstrucció a partir de principis del segle xv fins a l'actualitat.

En aquestes reconstruccions podem destacar l'alta variabilitat de l'índex reconstruït: hi podem trobar anys amb índex hivernal NAO força positiu, seguit d'anys amb índex àmpliament negatiu. Tot i aquesta variabilitat, s'observa que els primers segles del període reconstruït es destaquen

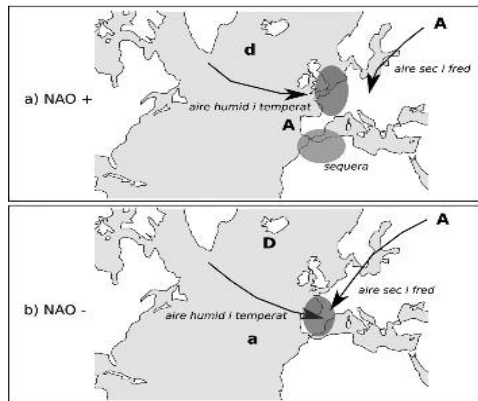


Figura 2. Trajectòries de les depressions atlàntiques i efecte de l'anticicló de Sibèria (a) en situació d'índex NAO positiu, i (b) índex NAO negatiu.

per tenir una preponderància d'índex NAO negatiu. Aquest índex té tendència a tornar a pujar gradualment durant el segle xx.

En un treball recent publicat a la revista *Science*, Trouet et al. [7] varen establir dos fets importants a partir de diferents estudis dendrocronològics. El primer és una NAO fortament positiva durant la major part de l'època medieval, seguit d'una evolució inversa (índex nul o negatiu) durant el període fred subsegüent. En aquest sentit, es confirmen els resultats dels estudis anteriors.

El segon resultat important d'aquest treball és que aquest índex positiu del període medieval es va acompanyar per un lleuger descens de temperatures sobretot en la zona mediterrània occidental, mentre que en el mateix període zones de l'oest i el centre d'Europa (regió dels Alps) tenien un clima de més bonança.

Mentrestant, altres investigacions de Rodrigo et al. [8 i 9] varen estudiar la pluviometria de la regió d'Andalusia en què van posar en correlació els períodes de més pluviometria amb les evolucions de l'índex NAO. Concretament, arriben a definir els períodes 1501-1589, 1650-1775 i 1938-1997 com a períodes de menor pluviositat, i els períodes 1590-1649 i 1776-1937 com a períodes més humits. Conclouen caracteritzant el *Little Ice Age* com a període especialment plujós a la península Ibèrica, amb una fase principal entre els anys 1590 i 1650.

Aquests resultats concorden amb els treballs de Schulte [10] sobre terrasses fluvials. Aquest autor també conclou que "increased fluvial activity, during periods of cooler Holocene climate such as the Early Medieval Ice Advance<sup>2</sup> and the Little Ice Age."

### **La NAO i la reconstrucció de precipitacions històriques a Andorra**

A partir d'aquestes dades, la reconstrucció que podem fer del clima en general, i de les precipitacions i recursos hídrics en particular a Andorra haurà de tenir en compte tant l'evolució del registre de temperatures com les variacions de l'índex NAO, variacions que sembla que mantenen una correspondència general –tot i que no es pugui establir de manera precisa en una escala temporal curta (per exemple, l'escala decenal).

Els estudis moderns dedicats a la meteorologia del nostre país, com per exemple Esteban et al. [11], arriben a la conclusió que la majoria de la precipitació que afecta el nostre país prové de fronts atlàntics, almenys tractant-se de deposicions importants en forma de neu durant l'hivern. Tampoc no existeixen indicis que sigui altrament a l'estiu, que és la temporada en què rebem més precipitacions.

En tot cas, sembla clar que, per tenir el pas freqüent de fronts atlàntics susceptibles de deixar precipitacions, convé que l'índex NAO sigui més aviat negatiu, ja que si no aquestes mateixes borrasques tindran dificultats per emprendre trajectòries dirigides cap al nostre sector. Inversament, per veure les nostres precipitacions reduïdes, convé que l'índex NAO tingui valors positius.

Aquesta apreciació es pot fonamentar en el registre de dades instrumentals disponibles per al nostre país. Encara que la durada d'aquest registre no és gaire llarga, resulta instructiu comparar les dades de precipitació disponibles gràcies a FEDA [12] amb el càlcul de l'índex NAO per la Climatic Research Unit [13]. Hem comparat l'índex NAO mitjà de cada any amb la mitjana (entre les tres estacions de mesura) del total de precipitacions recollides a les Valls. Posteriorment, hem filtrat les dades amb una mitjana aritmètica flotant d'onze anys. Apareix una molt bona correlació lineal entre les dues sèries (figura 3), amb  $p < 0,01$  en el test Rho d'Spearman.

Tal com esperàvem, els períodes de baixa pluviometria corresponen a anys en què l'índex NAO és negatiu, mentre que els períodes més humits corresponen a un índex NAO positiu.

A partir d'aquests resultats, així com de les reconstruccions de temperatura i d'índex NAO disponibles, podem proposar, doncs, la reconstrucció aproximativa següent de les paleoclimes al nostre país (taula 1).

### Algunes conseqüències sobre l'activitat humana a Andorra

Aquesta reconstrucció, tot i que grossera, ens permet plantejar-nos algunes preguntes pel que fa a les relacions entre l'home i el medi ambient a Andorra.

En primer lloc, notem que l'edat mitjana a Andorra devia ser un moment de relativa bonança climatològica. Tot i que els recursos en aigua podien no ser tant abundants com seria desitjable, el fet de disposar d'estius relativament càlids i secs podia ser beneficiós per a la principal cultura alimentària d'aquell moment, el blat.

Naturalment, el fet de tenir hiverns a la vegada menys rigorosos i amb menys precipitacions devia permetre unes millors comunicacions –per exemple, entre el comtat de Foix i les Valls.

En segon lloc, trobem dos períodes relativament freds i amb força precipitacions: els segles IV a VIII d'una banda, i els segles XVI al XIX de l'altra. Durant aquests períodes, una primera constatació és que les relacions amb els nostres veïns del nord devien resultar força dificultoses, almenys durant l'hivern. Ens hauríem de trobar, doncs, una marcada estacionalitat, fet que seria interessant intentar trobar en la documentació que està disponible per al segon període.

També seria possible estudiar la possible relació entre el clima i el canvi de cultiu alimentari, del blat a la patata. Aquest segon cultiu és molt més resistent a condicions humides i amb menys sol que el blat.

Una altra remarca sobre aquests dos períodes freds és que l'augment de pluviometria tindria els seus efectes sobre certes zones de fons de vall en què hi ha una tendència a formar molles, tant a Santa Coloma com en circs glaciaris com els Pessons i l'Illa. Quin devia ser l'efecte d'aquesta evolució sobre l'agricultura o la ramaderia en aquestes zones?

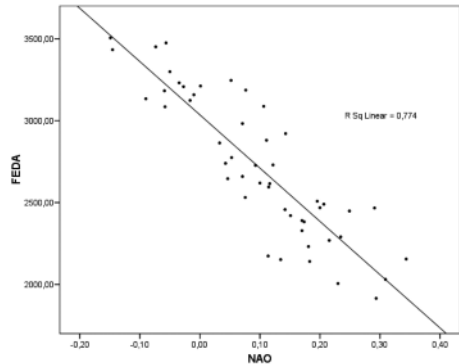


Figura 3. Correspondència entre precipitació total a Andorra (mitjana de les tres estacions de FEDA, en mm) i l'índex NAO, per als anys compresos en el període 1945-1999.

Període	Índex NAO	Arribada de fronts atlàntics (vent de l'oest/nord-oest)	Flux hivernal d'aire siberià (vent del nord/nord-est)	Temperatures	Resultat sobre el clima
Dark Ages Cold Period (s. IV - VIII)	Negatiu?	Freqüència alta?	Arriba sovint fins al Pirineu?	Relativament fredes	Elevada freqüència de precipitacions, tant estivals com en forma de neu a l'hivern.
Medieval Warm Period (s. X - XIII)	Positiu	Freqüència més baixa	No arriba gaire sovint fins al Pirineu	Relativament càlides, similars als anys 1950 i 1960	Freqüència més baixa de precipitacions, tant estivals com hivernals.
Little Ice Age (s. XVI - XIX)	Negatiu, però amb variacions	Freqüència alta	Arriba sovint/molt sovint fins al Pirineu	Relativament/molt fredes, però sense arribar als pics de -6 a -10 °C documentats a Europa del nord	Elevada freqüència de precipitacions, tant estivals com en forma de neu a l'hivern. Glaçades tenaces.
Modern Period (s. X - actualitat)	Positiu, amb algunes variacions	Freqüència més baixa	No arriba gaire sovint fins al Pirineu	Relativament càlides, amb tendència a pujar	Freqüència més baixa de precipitacions, tant estivals com hivernals.

Taula 1: paleoclimes (temperatures i precipitacions) d'Andorra

Finalment, l'augment de cabal dels rius pot haver estat beneficiós pel que fa a l'activitat industrial que en depèn per la seva força motriu: instal·lació de molins i serradores i, naturalment, les fargues. La documentació deixa clara l'existència de tals ginys a Andorra ja a partir de l'edat mitjana. Ara bé, l'augment de la seva força o l'allargament de la part de l'any durant la qual podien funcionar amb cert rendiment són aspectes que podien haver ajudat a la seva plena expansió durant els segles XVI a XVIII.

En tot cas, creiem i desitgem que l'estudi d'aquests aspectes relacionats amb els paleoclimes d'Andorra pugui aportar el seu granet de sorra a millorar el nostre coneixement de la història humana del nostre país.

**Alan Ward i Koeck,**  
enginyer en informàtica i màster en programari lliure

#### Agraïments

L'autor voldria agrair especialment els comentaris i suggeriments del Dr. Èric Jover.

#### Bibliografia

- [1] P. D. JONES; K. R. BRIFFA; T. P. BARNETT; S. F. B. TETT (1998) "High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with General Circulation Model control-run temperatures". *The Holocene*, 8: 455-471.
- [2] M. E. MANN; R. S. BRADLEY; M. K. HUGHES (1999) "Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations". *Geophys. Res. Lett.*, 26:759-762.
- [3] A. WARD (2010) *Climate change and the spread of Buddhism to East Asia*.
- [4] J. LUTERBACHER; C. SCHMUTZ; D. GYALISTRAS; E. XOPLAKI; H. WANNER (1999) "Reconstruction of monthly NAO and EU indices back to AD 1675." *Geophys. Res. Lett.*, 26:2745-2749.
- [5] M. F. GLUECK; C. W. STOCKTON (2001) "Reconstruction of the North Atlantic Oscillation, 1429 - 1983", *Int. J. Climatol.*, 21:1453-1465.
- [6] E. R. COOK; R. D. D'ARRIGO (2001) "A well-verified, multiproxy reconstruction of the winter North Atlantic Oscillation Index since A.D. 1400", *Journal of Climate*, 15:1754-1759.
- [7] V. TROUET; J. ESPER; N. E. GRAHAM; A. BAKER; J. D. SCOURSE; D. C. FRANK (2009) "Persistent Positive North Atlantic Oscillation Mode Dominated the Medieval Climate Anomaly." *Science*, 324, 78.
- [8] F. S. RODRIGO; M. J. ESTEBAN-PARRA; D. POZO-VAZQUEZ; Y. CASTRO-DÍEZ (2000) "Rainfall Variability in southern Spain on decadal to centennial time scales." *Int. J. Climatol.*, 20:721-732.
- [9] F. S. RODRIGO; D. POZO-VAZQUEZ; M. J. ESTEBAN-PARRA; Y. CASTRO-DÍEZ (2001) "A reconstruction of the winter North Atlantic Oscillation index back to A.D. 1501 using documentary data in southern Spain." *Jour. Geophys. Res.*, 106, 14:805-818.
- [10] L. SCHULTE (2002) "River response and terrace aggradation in the Mediterranean Iberian Peninsula during historical times." International Workshop on Paleofloods, *Historical Data & Climatic Variability*, Barcelona, 16-19th October, 2002.
- [11] P. ESTEBAN; P. D. JONES; J. MARTÍN-VIDE; M. MASES (2005) "Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees", *Int. J. Climatol.*, 25:319-329.
- [12] Mesures de precipitació en forma de pluja i de neu obtingudes des de l'any 1934 per Fhasa i posteriorment per FEDA, disponibles en línia a la URL: [www.feda.ad](http://www.feda.ad)
- [13] Càlcul de l'índex NAO per la Climatic Research Unit de la University of East Anglia (UK), disponibles en línia a la URL: [www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao/nao.dat](http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao/nao.dat)

#### NOTES

- 1 Els proxims més coneguts són els anells de creixement dels arbres (dendrocronologia) i la variació de nivells relatius de l'isòtop O<sup>18</sup> en mostres de gel d'origens glaciària i polar.
- 2 També conegut com el *Dark Ages Cold Period*.