



UNIVERSITAT DE BARCELONA

Departament de Geografia Física
i
Anàlisi Geogràfica Regional

***INCIDÈNCIA DE LES
GRANS ERUPCIONS VOLCÀNIQUES
EN EL CLIMA DE LA PENÍNSULA IBÈRICA
I BALEARS***

Memòria presentada per

Marc Jaume PROHOM DURAN

Per a optar al títol de doctor en Geografia

Desembre de 2003

CAPÍTOL 1 – INTRODUCCIÓ

1.1. EL TEMA D'ESTUDI

Les grans erupcions volcàniques són una coneguda font de variabilitat natural del sistema climàtic i han estat objecte d'especial anàlisi en les darreres dècades. La recent tendència cap a l'escalfament global detectada des de finals dels anys setanta del segle XX ha fomentat els estudis encaminats a identificar les causes d'aquest procés, intentant determinar el pes de la responsabilitat antròpica per damunt d'altres factors naturals [Bradley, 2000; Crowley, 2000; Mann, 2000; IPCC, 2001; Jones *et al.*, 2001; Bertrand *et al.*, 2002]. Per aquest motiu és de gran importància conèixer el paper que juga la variabilitat natural del clima en aquest procés, és a dir, fins a quin punt factors com ara un increment/descens en la quantitat de la radiació solar incident [Rind, 2002] o una reducció/augment de l'activitat volcànica [Robock, 2000] potencien o limiten l'escalfament global. En aquest sentit, Crowley [2000] analitzà les possibles causes de canvis climàtics a l'hemisferi Nord (HN) en el darrer mil·leni, arribant a la conclusió que en l'època pre-industrial (anterior a 1850) un 41-64% de la variabilitat de la temperatura a escala decadal s'explicava per la combinació dels forçaments volcànic i solar (d'aquest, un 22-23% s'explicava només per la incidència del vulcanisme de gran magnitud). Per contra, en l'època posterior a 1850, es creu que la influència d'ambdós factors naturals externs explicarien només un 25% de l'escalfament experimentat en aquest període. La identificació de l'aportació o el senyal dels forçaments naturals en el clima del passat, entre ells el del vulcanisme, esdevé doncs crucial per a extreure la veritable influència de les activitats humanes i entendre i modelitzar les tendències del clima present i futur.

Gran part dels estudis que s'han centrat en l'anàlisi del forçament volcànic sobre el clima ho han fet a escales globals i/o hemisfèriques, essent molt escassos els estudis a escala regional. En aquest sentit, el treball de recerca que aquí es presenta significa una novetat doncs analitza la incidència del vulcanisme de gran magnitud sobre el clima de la Península Ibèrica i les Illes Balears, una àrea de gran importància per la seva estratègica situació latitudinal. La localització a cavall del domini del món subtropical i de la circulació de l'oest, juntament amb la seva complexa geografia (es tracta d'una península amb un istme estret, entre dos continents i de relleu marcat) converteixen aquest sector en un àmbit d'especial rellevància i singularitat climàtica. Paral·lelament a

la novetat que suposa l'enfocament regional, també resulta original el fet que no només es tracta l'anàlisi de la resposta de la temperatura davant del forçament, com tracten la immensa majoria dels treballs o articles de recerca publicats, sinó que també es tracten d'altres aspectes com ara la possible afectació sobre la precipitació o sobre els patrons de circulació atmosfèrica.

Seguidament, i com a introducció a la temàtica d'estudi, s'explica breument en què consisteix el mecanisme de forçament volcànic, fent especial atenció als requisits mínims per a que una erupció pugui ser considerada climàticament significativa.

1.1.1. El mecanisme de forçament

Identificades com a una important causa de canvi climàtic en el passat [*Sadler & Grattan, 1999; Firth & McGuire, 1999*], les erupcions volcàniques de gran magnitud són capaces de modificar en poques setmanes el balanç energètic del planeta, mitjançant la injecció massiva de gasos i aerosols¹ a l'estratosfera. En esdevenir-se una erupció s'alliberen una gran quantitat de materials de naturalesa diversa. El component sòlid principal és el material magmàtic compost per lava, *tefra* i cendres (de fet la cendra no és res més que la *tefra* de mida reduïda). Bona part d'aquest volum de material es diposita molt ràpidament al terra, sobretot aquell més pesant, i en qüestió de poques setmanes ho fa el material més fi. En aquest sentit, la creença que són les cendres volcàniques les que generen la modificació climàtica a gran escala és falsa i únicament generen modificacions en la dinàmica atmosfèrica de l'àrea més propera al lloc de l'erupció. Ara bé, una erupció volcànica també emet gasos, essent el vapor d'aigua (H₂O), el nitrogen (N₂) i el diòxid de carboni (CO₂) els més abundants. Tant l'H₂O com el CO₂ són importants gasos d'efecte hivernacle, però la seva presència a l'atmosfera és tant gran, que l'aportació de les erupcions volcàniques té un pes menyspreable i no suposa un augment destacat en la concentració global d'aquests gasos. Són les emissions de compostos de sofre les que, en arribar a l'estratosfera, provoquen un efecte climàtic més important, sobretot en forma de diòxid de sofre (SO₂) i alguns cops en forma d'àcid sulfhídric (H₂S). Ambdós compostos, en reaccionar amb l'OH i l'H₂O, formen partícules d'àcid sulfúric (H₂SO₄) que desencadenen tot un seguit de reaccions químiques i modificacions energètiques: reflecteixen part de la radiació solar

¹ Aerosol: gota líquida o partícula sòlida suspesa en un gas.

incident novament a l'espai exterior, augmenten l'albedo planetari i redueixen la quantitat d'energia solar que arriba a la superfície de la Terra. Som davant de l'efecte potencial i principal de les grans erupcions volcàniques sobre el clima global: el forçament negatiu de la radiació² i el posterior refredament superficial a nivell global. Paral·lelament, a l'estratosfera es produeixen importants reaccions químiques consistents principalment en la destrucció de l'ozó (O₃) estratosfèric, i la conseqüent disminució en l'absorció de la radiació ultraviolada. Tot aquest procés s'explica de manera esquemàtica a la figura 1.1. Per tal de fer-se una idea de la magnitud d'aquest mecanisme només cal dir que la quantitat d'SO₂ injectat a l'estratosfera durant la darrera erupció destacada del segle XX, l'erupció del Pinatubo (juny de 1991), fou de 20 Mt (megatones)³ i el núvol volcànic va encerclar la Terra en només tres setmanes [Bluth *et al.*, 1992].

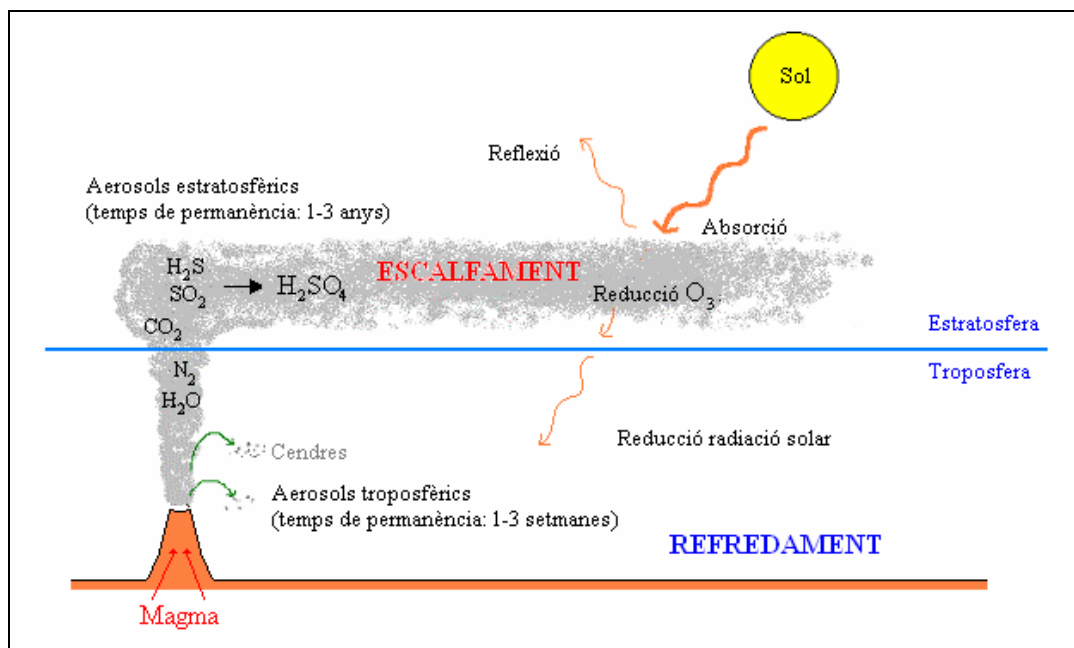


Figura 1.1. Diagrama esquemàtic de l'emissió de materials volcànics a l'atmosfera i els seus efectes sobre la radiació solar.

² Per forçament de la radiació s'entén un canvi en el balanç energètic de radiació que afecta al sistema terra-atmosfera. Un forçament positiu tendeix a escalfar la superfície del planeta i la baixa atmosfera, mentre que un de negatiu implica un refredament [IPCC, 2001].

³ Mt = megatona = 10⁶ T = 10⁹ Kg = 10¹² g = teragram

1.2. OBJECTIUS

1.2.1. Objectiu general

L'objectiu general d'aquesta investigació és el de detectar el senyal del vulcanisme explosiu sobre el clima de la Península Ibèrica i les Illes Balears, tot analitzant la possible resposta sobre les variables temperatura, precipitació i pressió atmosfèrica en superfície. A nivell espacial, també es tracta d'identificar aquells sectors de l'àrea d'estudi més sensibles al forçament volcànic, mentre que temporalment s'analitza la possible durada de l'impacte. En ambdós casos s'estudia el paper que juga la localització latitudinal de les erupcions en la posterior resposta climàtica.

1.2.2. Objectius específics

Més concretament la recerca es centrarà en els següents aspectes:

- Incidència sobre la temperatura. Mitjançant l'ús de la metodologia de l'Anàlisi d'Èpoques Superposades (AES) s'intentarà esbrinar quina incidència tenen les grans erupcions volcàniques sobre la temperatura mitjana mensual de la Península Ibèrica i les Illes Balears. En primer lloc s'abordarà la resposta a nivell de conjunt i seguidament a nivell de detall. La primera aproximació facilitarà la comparació dels resultats amb els obtinguts a escales hemisfèrica i global, mentre que la segona permetrà detectar aquelles regions de l'àrea d'estudi amb una major sensibilitat davant del forçament volcànic. En ambdós casos, l'estudi es realitzarà separatament per a erupcions tropicals (o localitzades al voltant de la franja equatorial) i per a erupcions de latituds elevades. Finalment, també es tractarà de detectar l'existència de respostes diferenciades en l'evolució de les temperatures màximes i mínimes mensuals, durant el període post-volcànic.

- Incidència sobre la precipitació. El principal objectiu serà el de detectar la possible resposta de la precipitació mensual peninsular i balear davant del vulcanisme explosiu. Concretament s'analitzarà si durant el període posterior a una erupció es fan més persistents determinades anomalies, si aquestes es concentren preferentment en determinats sectors geogràfics i si la resposta és la mateixa per a erupcions de diferent localització latitudinal. Són molt escassos els

estudis sobre la possible incidència d'aquest fenomen sobre la precipitació, fent que els resultats puguin ser de gran interès, i més si es té en compte la inherent irregularitat espacial i temporal d'aquesta variable en l'àrea d'estudi.

➤ Incidència sobre els patrons de circulació en superfície a Europa. El tercer pilar sobre el qual es recolza la investigació tractarà de detectar canvis en els patrons de circulació sobre Europa en els períodes posteriors a grans erupcions volcàniques equatorials. Es farà especial atenció en identificar aquells patrons més persistents o que millor representen la circulació atmosfèrica durant aquests períodes post-eruptius. Els resultats permetran una millor comprensió dels ja obtinguts en l'anàlisi de la temperatura i la precipitació.

1.3. HIPÒTESI DE TREBALL

En iniciar-se un treball de recerca es formulen un seguit d'hipòtesis relacionades amb la temàtica d'estudi. El treball previ de recopilació bibliogràfica permet fer un enfocament global i adaptar el que ja s'ha realitzat en d'altres investigacions, a la realitat de la recerca que s'inicia. En aquest sentit, les hipòtesis de treball són:

- El clima de la Península Ibèrica i de les Illes Balears és sensible a la incidència del vulcanisme explosiu. La constatació de que es tracta d'un forçament natural extern d'incidència global dóna suport a aquesta hipòtesi.
- Lligat a l'anterior, i coneixent els mecanismes que desencadenen grans erupcions volcàniques, s'hauria de detectar un descens apreciable en la temperatura de l'àrea d'estudi. Paral·lelament, la magnitud i durada d'aquest senyal estaria lligat a les característiques de cadascuna de les erupcions considerades.
- La variable precipitació en l'àrea d'estudi pot ser igualment afectada pel forçament volcànic, tot i que és una incògnita el signe de l'anomalia o si aquesta varia al llarg del període post-volcànic.
- Les modificacions tèrmiques i pluviomètriques permeten plantejar la hipòtesi de que les grans erupcions volcàniques poden generar canvis en la circulació atmosfèrica de la regió on s'insereix l'àrea d'estudi.

➤ Finalment, la metodologia de l'AES hauria de constituir-se com a plenament vàlida per a assolir els objectius d'aquesta investigació, doncs es tracta de l'eina més àmpliament emprada en aquests tipus d'estudis i el seu ús en aquest treball de recerca permetria comparar els resultats obtinguts amb els procedents d'altres investigacions. El doble criteri de selecció de la data de l'erupció o data clau hauria de permetre conèixer amb més detall la velocitat de resposta i la possible component estacional del senyal.

1.4. PLA DE TREBALL I ÍNDEX DE LA MEMÒRIA

Durant els aproximadament quatre anys dedicats a portar a terme aquest treball de recerca s'ha passat per un seguit d'etapes (figura 1.2.).

En el període inicial (d'una durada d'aproximadament mig any) es va realitzar una exhaustiva recerca bibliogràfica. L'estada de dos mesos a la *Climatic Research Unit* (Norwich, Regne Unit) va ser crucial per a recollir aquells articles, llibres, actes de congressos i d'altre tipus de material no disponibles des de Barcelona. La lectura i anàlisi d'aquest volum d'informació va permetre el plantejament dels objectius i hipòtesis generals i l'ajust de la recerca a la nostra àrea d'estudi. La mateixa estada va servir com a introducció al coneixement i ús de la metodologia de l'AES, gràcies a la col·laboració amb els doctors P.M. Kelly i P.D. Jones.

El següent pas fou la selecció d'aquelles erupcions amb presumible impacte climàtic i que es classificaren en funció de la seva localització latitudinal. La naturalesa del fenomen a analitzar condicionava el tipus de base de dades a escollir per al tractament estadístic. Així, es seleccionaren aquells registres que acomplissin un doble criteri: en primer lloc que permetessin la major cobertura temporal possible, per tal de permetre la inclusió d'un major nombre de casos i, en segon lloc, una base de dades amb una apreciable resolució espacial per tal de detectar la possible component regional del senyal. Per al tractament de les modificacions en els camps de pressió, es va utilitzar la font de dades instrumental de major cobertura temporal disponible.

L'apartat que va ocupar un major nombre de mesos fou el tractament estadístic de les dades i l'obtenció dels resultats. En aquesta etapa s'utilitzaren diverses eines i paquets informàtics: EXCEL, per a la realització de diversos càlculs; SPSS 10.0, per a l'aplicació de la metodologia multivariant; SURFER, per a la representació espacial dels

resultats, i el programa SEA generat en llenguatge FORTRAN'77, per a dur a terme l'Anàlisi d'Èpoques Superposades.

Finalment, i d'acord amb els resultats obtinguts es varen formular un seguit de conclusions generals.

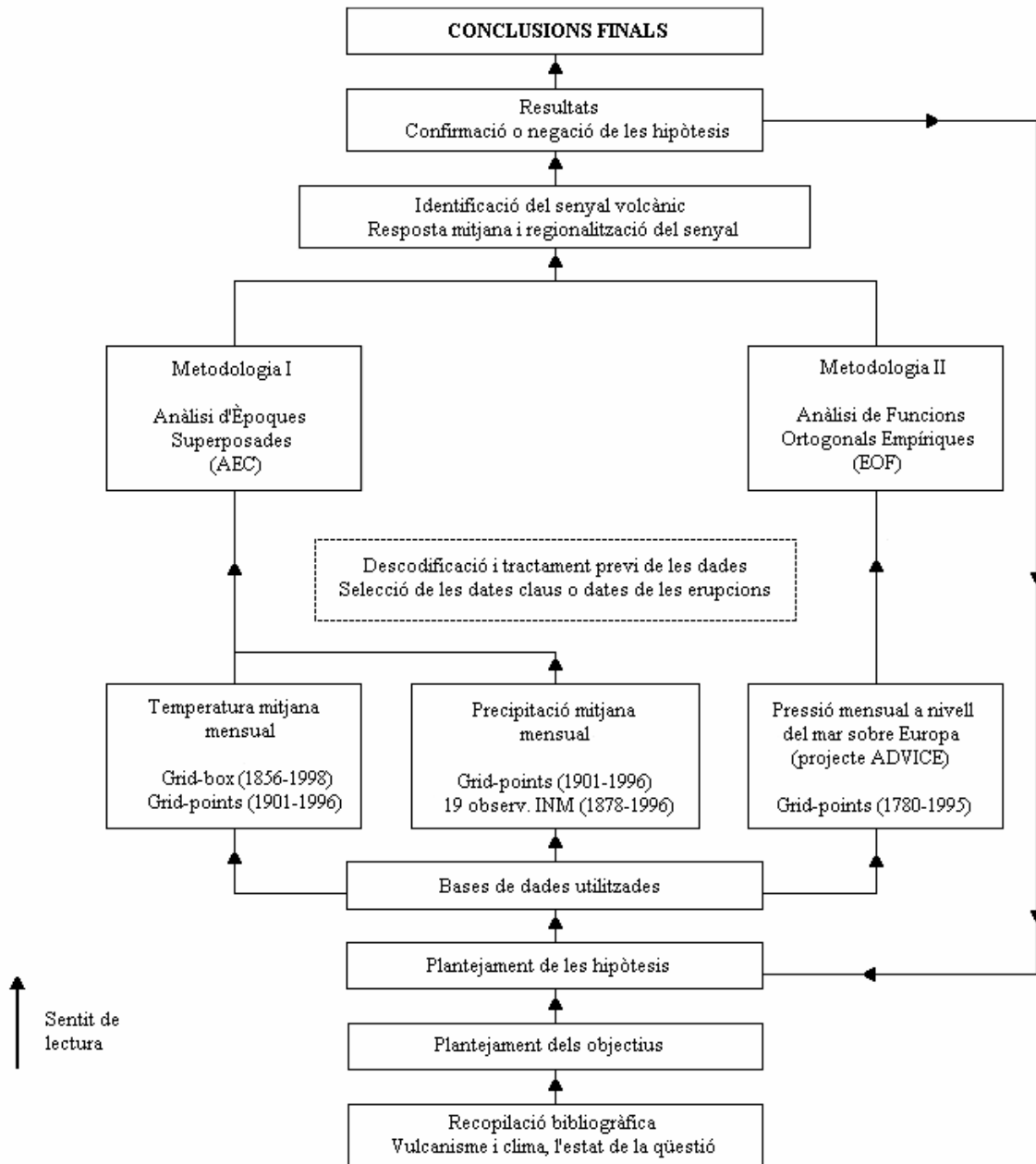


Figura 1.2. Representació esquemàtica del pla de treball

Tenint en compte l'anterior, la memòria s'estructura en diferents apartats. El **capítol 2** tracta un aspecte clau a l'hora d'emprendre qualsevol estudi que tracti la temàtica de la relació entre vulcanisme i clima: *l'obtenció d'una bona cronologia de fenòmens eruptius*. Com és sabut no totes les erupcions són capaces de provocar conseqüències climàtiques i, per aquest motiu, esdevé d'una importància cabdal identificar aquelles que, per les seves característiques, les poden generar. Els registres de vulcanisme són molt variats i es nodreixen de moltes fonts diferents. En l'actualitat els registres instrumentals, principalment les mesures de satèl·lits, són la font més fiable per la precisa informació que proporcionen, sobretot, de la naturalesa química i de la quantitat dels materials emesos. Malauradament, la disponibilitat d'aquesta informació es limita a les darreres tres dècades del segle XX i, per a erupcions remotes, no només no es disposa d'aquesta informació, sinó que d'altres aspectes aparentment tant simples com la localització geogràfica de la font eruptiva esdevenen una incògnita. Per això és necessari utilitzar d'altres fonts que, com es comprovarà, tenen les seves avantatges i inconvenients. Entre elles destaquen la formulació de diferents índexs de vulcanisme, els registres documentals, les fonts dendroclimàtiques, les fonts glaciològiques i, fins i tot, els registres coral·lins.

Un cop identificades i catalogades aquelles erupcions amb probable senyal climàtic, el **capítol 3** centra l'anàlisi en la seva incidència sobre la *temperatura mensual de la Península Ibèrica i les Illes Balears*. S'ha pogut comprovar com a nivell global i hemisfèric es produeix un apreciable descens tèrmic d'una durada d'entre dos i tres anys depenent, entre d'altres factors, de la localització latitudinal de l'erupció. En aquest apartat, s'avalua si la nostra àrea d'estudi mostra, com a conjunt, un comportament semblant, intentant precisar la intensitat i la durada de l'impacte, així com la seva possible component estacional. Paral·lelament, i centrant l'anàlisi en el segle XX, també s'intenten identificar aquells sectors de l'àrea d'estudi més sensibles i, al mateix temps, esbrinar si hi ha un comportament diferenciat en la resposta de les temperatures màximes i mínimes. La metodologia emprada serà en aquest cas i en d'altres de posteriors, l'Anàlisi d'Èpoques Superposades (AES) i que més endavant se'n precisarà el funcionament.

En el **capítol 4**, es realitza un anàlisi paral·lel a l'exposat per a la temperatura però en aquest cas per a la variable precipitació. Així, s'estudia la possible incidència del vulcanisme sobre la distribució de la *precipitació mensual peninsular i balear* intentant esbrinar una major sensibilitat de determinades àrees i, novament, una certa component

estacional. Tot i que, aparentment la principal resposta del sistema climàtic davant del forçament volcànic és una conseqüència del forçament sobre la radiació, cada cop hi ha més evidències que reforcen la idea que també es produeix una resposta de tipus dinàmica i especialment apreciable durant els dos hiverns posteriors a erupcions localitzades en la franja tropical. De produir-se una resposta apreciable, l'anàlisi pot donar suport a aquestes teories i enllaçar amb el capítol immediatament posterior.

Així, en el **capítol 5**, es tracta la temàtica del forçament dinàmic induït pel vulcanisme a través de l'estudi dels *canvis en la circulació atmosfèrica en superfície sobre Europa en els períodes post-volcànics dels segles XIX i XX*. Per a dur a terme aquest anàlisi s'utilitza una altra tipus de metodologia, l'Anàlisi de Components Principals (o PCA), o també coneguda com a anàlisi de Funcions Ortogonals Empíriques (o EOF). En aquest apartat també rebrà atenció la resposta hivernal del patró de l'Oscil·lació de l'Atlàntic Nord (o patró NAO) davant de grans erupcions de latituds elevades i tropicals.

Finalment, el **capítol 6** es reserva a *discussió i conclusions* del treball de recerca i el **capítol 7** a la *bibliografia*.

