



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Anàlisi de diferents enfocaments per representar la composició de pols mineral dins dels models atmosfèrics i climàtics

Treball realitzat per:
Roger Garatachea Solé

Dirigit per:
María Gonçalves Ageitos

Co-dirigit per:
Carlos Pérez García-Pando

Màster en:
Enginyeria Ambiental

Barcelona, 21 de Juny del 2020

Departament d' Enginyeria de Projectes i de la
construcció

TREBALL FINAL DE MÀSTER

Resum

La composició i la quantitat de pols mineral present en l'atmosfera juga un paper important en els sistemes atmosfèrics, terrestres i hidrològics, així com en la qualitat de l'aire. Actualment, la majoria de models atmosfèrics i climàtics consideren la pols mineral com una entitat homogènia, però nombrosos estudis indiquen com les variacions de la mineralogia de la pols poden modificar dràsticament els diferents efectes de la pols mineral. En conseqüència, un millor coneixement tant de la mineralogia del sòl com de les incerteses associades en el procés d'emissió de la pols mineral podrien marcar diferències significatives en els resultats dels models atmosfèrics o climàtics de la pols i en el coneixement dels efectes de la pols mineral. En aquest treball s'analitzen les incerteses associades a la composició dels sòls i a la composició de la pols emesa, considerant un rang de parametritzacions diferents per l'emissió i diferents fonts d'incertesa en la definició de la composició mineralògica dels sòls.

En primer lloc, s'ha analitzat diferents bases de dades de la mineralogia del sòl i s'ha pogut comprovar com hi ha diferències significatives entre elles arran de les diferents aproximacions que s'han de dur a terme per tal de poder construir els mapes de la mineralogia global. Per tal d'integrar la mineralogia del sòl en els models climàtics i atmosfèrics s'han d'utilitzar mètodes d'agregació per passar de l'alta resolució de les bases de dades de mineralogia a la resolució adequada per l'ús dels models. D'aquesta manera, s'ha analitzat tres mètodes diferents d'agregació: el mètode del sòl dominant (TSD), el de la mitjana aritmètica (MA) i el de la mitjana ponderada per la textura del sòl (MP). S'ha observat una diferència significativa entre el TSD i el MA, arribant a diferències absolutes superiors al 30 % en alguns minerals. Per altra banda, les diferències entre el MA i el MP no són molt notables.

S'ha realitzat un anàlisi de sensibilitat dels resultats en les quantitats de minerals emesos tenint en compte incerteses en el flux d'emissió de pols, la distribució de mides dels minerals en emissió i els mètodes d'agregació espacial. On s'ha pogut observar diferències significatives en els percentatges d'emissió segons les diferents bases de dades de la mineralogia. Per altra banda, s'ha comprovat com l'ús del TSD o el MA en l'emissió mineralògica no té efectes importants en els percentatges d'emissió mineralògica. Finalment, s'ha vist com l'ús de diferents mètodes d'emissió mineralògica comporta sobretot diferències en els minerals d'argila, quars i feldspats. Els processos estudiats que comporten més incertesa en l'emissió mineralògica són les bases de dades de la mineralogia i els mètodes d'emissió.

Resumen

La composición y la cantidad de polvo mineral presente en la atmósfera juega un papel importante en los sistemas atmosféricos, terrestres e hidrológicos, así como en la calidad del aire. Actualmente, la mayoría de los modelos atmosféricos y climáticos consideran el polvo mineral como una entidad homogénea, pero numerosos estudios indican cómo las variaciones de la mineralogía del polvo pueden modificar drásticamente los diferentes efectos del polvo mineral. En consecuencia, un mejor conocimiento tanto de la mineralogía del suelo como de las incertidumbres asociadas en el proceso de emisión de la mineralogía podrían marcar diferencias significativas en los resultados de los modelos atmosféricos o climáticos del polvo y en el conocimiento de los efectos del polvo mineral. En este trabajo se analizan las incertidumbres asociadas a la composición de los suelos y en la composición del polvo emitida, considerando un rango de parametrizaciones diferentes para la emisión y diferentes fuentes de incertidumbre en la definición de la composición mineralógica de los suelos.

En primer lugar, se ha analizado diferentes bases de datos de la mineralogía del suelo y se ha podido comprobar como hay diferencias significativas entre ellas debido las diferentes aproximaciones que se deben llevar a cabo para poder construir los mapas de la mineralogía global. Para integrar la mineralogía del suelo en los modelos climáticos y atmosféricos se deben utilizar métodos de agregación para pasar de la alta resolución de las bases de datos de mineralogía a la resolución adecuada para el uso de los modelos. De este modo, se ha analizado tres métodos diferentes de agregación: el método del suelo dominante (TSD), el de la media aritmética (MA) y el de la media ponderada por la textura del suelo (MP). Se ha observado una diferencia significativa entre el TSD y el MA, llegando a diferencias absolutas superiores al 30% en algunos minerales. Por otra parte, las diferencias entre el MA y el MP no son muy notables.

Se ha realizado un análisis de sensibilidad de los resultados en las cantidades de minerales emitidos teniendo en cuenta incertidumbres en el flujo de emisión de polvo, la distribución de tamaños de los minerales en emisión y los métodos de agregación espacial. Donde se ha podido observar diferencias significativas en los porcentajes de emisión según las diferentes bases de datos de la mineralogía. Por otra parte, se ha comprobado como el uso del TSD o el MA en la emisión mineralógica no tiene efectos importantes en los porcentajes de emisión mineralógica. Finalmente, se ha visto como el uso de diferentes métodos de emisión mineralógica comporta sobre todo diferencias en los minerales de arcilla, cuarzo y feldspatos. Los procesos estudiados que conllevan más incertidumbre en la emisión mineralógica son las bases de datos de la mineralogía y los métodos de emisión

Abstract

The composition and the amount of mineral dust present in the atmosphere play an important role in the atmospheric, terrestrial, and hydrological systems and air quality. Nowadays, most Atmospheric and Earth System models consider dust a homogeneous entity, but numerous studies indicate how variations in dust mineralogy can drastically modify the different effects of mineral dust. Consequently, a better knowledge of the soil mineralogy and the uncertainties in the dust emission process could significantly differ in the results of Atmospheric and Earth System models and the knowledge of the effects of mineral dust. This work analyses the uncertainties of the composition of the soils and the compositions of the emitted dust, considering a range of different parameterisations for the emission and different sources of uncertainty in the definition of the mineralogical composition.

First of all, the databases of soil mineralogy have been analysed. It has been possible to check how there is a significant difference between them due to the different approaches that they need to build the mineralogical maps. To integrate the soil mineralogy into the models, we need to use aggregation methods to go through the high resolution of the mineralogy databases to the low resolution to use in the models. Three different aggregation methods have been analysed: dominant soil type (TSD), the average of mineralogy (MA), and the weighted average of mineralogy with soil texture data (MP). An important difference has been observed between TSD and MA, reaching an absolute difference of 30 % in some minerals. On the other hand, the differences between MA and MP are not very significant.

A sensitivity analysis of the results on the emitted minerals has been carried out considering the uncertainties in the dust emission flow, the size distribution of the minerals, and the spatial aggregation methods. It has been possible to notice a substantial difference in the percentages of emission with the different databases of the mineralogy. On the other hand, it has been shown that the use of TSD or MA in mineralogical emission does not have an important effect on mineralogical emission percentages. Finally, it has been seen that the use of different mineralogical emission methods mainly involves differences in the clay minerals, quartz, and feldspar. The studied processes with more uncertainties in the emission are the databases of soil mineralogy and the emission methods.

Índex

1.	Introducció	5
1.1.	Efectes de la pols mineral	8
1.1.1.	Pols mineral i la radiació	8
1.1.1.1.	Efectes directes en la radiació.....	10
1.1.1.2.	Efectes indirectes en la radiació.....	11
1.1.2.	Efectes en els cicles biogeoquímics.....	11
1.1.3.	Efectes en la química atmosfèrica.....	12
1.1.4.	Efectes sobre la salut humana	13
1.2.	Fonts i transport de la pols mineral	13
1.3.	Composició de la pols mineral	16
2.	Objectius	21
3.	Metodologia	22
3.1.	Comparació de les bases de dades de la mineralogia del sòl	22
3.2.	Comparació dels diferents mètodes d'agregació de la mineralogia del sòl	23
3.3.	Anàlisi de la influència de les incerteses de la emissió en la mineralogia de la pols mineral a nivell global	25
3.3.1.	MONARCH	25
3.3.2.	Esquemes d'emissió de la pols	26
3.3.3.	Mètode d'emissió de la mineralogia al sòl.....	27
4.	Bases de dades de la mineralogia global.....	30
4.1.	Minerals i zones d'estudi.....	30
4.2.	Comparació de la metodologia utilitzada en les diferents bases de dades de la mineralogia global.....	33
5.	Mètodes d'agregació per passar de mapes de la mineralogia del sòl d'alta resolució a més baixa resolució	44
5.1.	Mètode d'agregació del tipus de sòl dominant	44
5.2.	Comparació dels diferents mètodes d'agregació.....	47
6.	Anàlisi de sensibilitat dels diferents esquemes d'emissió de la pols en el model MONARCH	51
6.1.	Emissió mineralògica total segons el tipus d'agregació del TSD.....	51
6.2.	Comparació en l'emissió mineralògica entre el mètode d'agregació del TSD i la MA 61	
6.3.	Comparació en l'emissió mineralògica entre dos mètodes d'emissió	64
7.	Conclusions	66
8.	Bibliografia	70
	Annex I – Comparació dels diferents mètodes d'agregació en la fracció d'argila	77
	Annex II – Comparació dels diferents mètodes d'agregació en la fracció de llims.....	79

Índex d'il·lustracions

Il·lustració 1. Tempesta de pols sahariana sobre la península Ibèrica. Font: AEMET, 2021.	6
Il·lustració 2. Mapa mostrant les zones àrides i semi àrides del planeta. Font: Berhane, 2015... 7	7
Il·lustració 3. Balanç radiatiu global. Font: IPPC ARS, 2014.....	9
Il·lustració 4. Esquema dels efectes radiatius dels aerosols en l'atmosfera. Font: AR4, 2007. ..	10
Il·lustració 5. Mapa de les diferents unitats del sòl considerades per la FAO l'any 1074. Font: FAO, 2021.	18
Il·lustració 6. Gràfic dreta: Representació gràfica d'una malla d'alta resolució a mode d'exemple de les bases de dades de la mineralogia global, On Δx seria entre 1 -10 km. Gràfic esquerre: Representació gràfica d'una malla de baixa resolució a mode d'exemple de la resolució dels models climàtics o atmosfèrics a nivell global. On Δx seria al voltant dels 100 km.	19
Il·lustració 7. Distribució de mida de l'emissió de pols (línia negra) en comparació a la distribució de mida de la pols en el sòl pertorbat per les tècniques de mesura (línia taronja). Font: Pelwitz et al.,2015.....	28
Il·lustració 8. Localització de la base de dades utilitzades per Claquin et al. (1999) en blau i Journet et al. (2014) en vermell. Font: Journet et al., 2014.....	37
Il·lustració 9. Definició de les 7 regions principals emissores de pols mineral	59

Índex taules

Taula 1. Emissions anuals de pols per les diferents principals regions emissores de pols. Font: Querol et al, 2019.	14
Taula 2. Característiques del transport local, regional i global de la pols. Font: Adaptació de Livingstone, 2019.....	16
Taula 3. Composició mineralògica de la pols del desert. Font: Querol et al, 2019.....	17
Taula 4. Distribució mineralògica de les diferents bases de dades per la fracció d'argila i la fracció de llims.	33
Taula 5. Resum de les característiques principals de cada base de dades de la mineralogia estudiades.	36
Taula 6. Unitat del sòl considerades en l'estudi comparatiu entre les MMT de Journet i Claquin.	40
Taula 7. Emissió total de pols utilitzant la mineralogia de Journet i la mineralogia Claquin en teragramms per l'any 2012.	51
Taula 8. Mitjana i desviació estàndard de la emissió mineralògica en percentatge tenint en compte els 4 esquemes d'emissió per Claquin i per Journet per l'any 2012.....	54
Taula 9. Percentatge i desviació estàndard de l'emissió total i l'emissió total de pols mineral per regions per Journet i per Claquin l'any 2012.	60

Taula 10. Emissió total de pols en teragramms pel mètode del tipus de sol dominant i de la mitjana en Journet, l'any 2012.....	62
Taula 11. Percentatge i desviació estàndard de l'emissió dels diferents minerals segons Journet utilitzant el mètode d'agregació del tipus de sòl dominant (TSD) i de la mitjana aritmètica (MA) l'any 2012.	63

Índex gràfics

Gràfic 1. Gràfic de les taules de mineralogia mitjanes per 10 unitats del sòl en la fracció d'argila per Claquin i Journet.	40
Gràfic 2. Exemples de tres minerals per les diferents bases de dades sobre la composició mineralògica de la regió de Nord Amèrica amb la mineralogia del sòl de Journet.	42
Gràfic 3. Comparació de mapes de la mineralogia del sòl de tres minerals sobre la regió de Nord Amèrica en alta resolució i a baixa resolució aplicant el mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb la mineralogia del sòl de Journet.	46
Gràfic 4. Comparació de la diferència absoluta de la Calcita utilitzant el mètode la mitjana (mapa de l'esquerra) amb la utilització del mètode de la mitjana ponderada amb el HWSD o el STATSGO-FAO (Mineralogia del sòl de Journet).	48
Gràfic 5. Comparació de la diferència absoluta de tres minerals del mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb el mètode de la mitjana, la mitjana ponderada amb el HWSD i la mitjana ponderada amb el STATSGO-FAO en la fracció d'argila amb la mineralogia del sòl de Journet.	50
Gràfic 6. Mapes de la emissió global de pols l'any 2012 segons els esquemes d'emissió G01, MB95, K14 i S04 per la mineralogia de Journet i Claquin.	52
Gràfics 7. Emissió mineralògica total en percentatge per mineral per Claquin i Journet l'any 2012.....	55
Gràfic 8. Percentatge d'emissió de la fracció d'argila i la fracció de llims l'any 2012 per Claquin i per Journet.	58
Gràfic 9. Gràfics superiors: Emissió mineralògica en percentatge en el mètode 51 i mètode 52 per Claquin l'any 2012. Gràfics inferiors: Emissió mineralògica total per blocs de distribució de mida en el mètode 51 i mètode 52 per Claquin l'any 2012.	65
Gràfic 10. Comparació de la diferència absoluta de tres minerals del mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb el mètode de la mitjana, la mitjana ponderada amb el HWSD i la mitjana ponderada amb el STATSGO-FAO en la fracció d'argila.....	77
Gràfic 10. Comparació de la diferència absoluta de tres minerals del mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb el mètode de la mitjana, la mitjana ponderada amb el HWSD i la mitjana ponderada amb el STATSGO-FAO en la fracció d'argila.....	78
Gràfic 11. Comparació de la diferència absoluta de tres minerals del mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb el mètode de la mitjana, la mitjana ponderada amb el HWSD i la mitjana ponderada amb el STATSGO-FAO en la fracció de llims.	79
Gràfic 11. Comparació de la diferència absoluta de tres minerals del mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb el mètode de la mitjana, la mitjana ponderada amb el HWSD i la mitjana ponderada amb el STATSGO-FAO en la fracció de llims.	80

Llista d'abreviacions

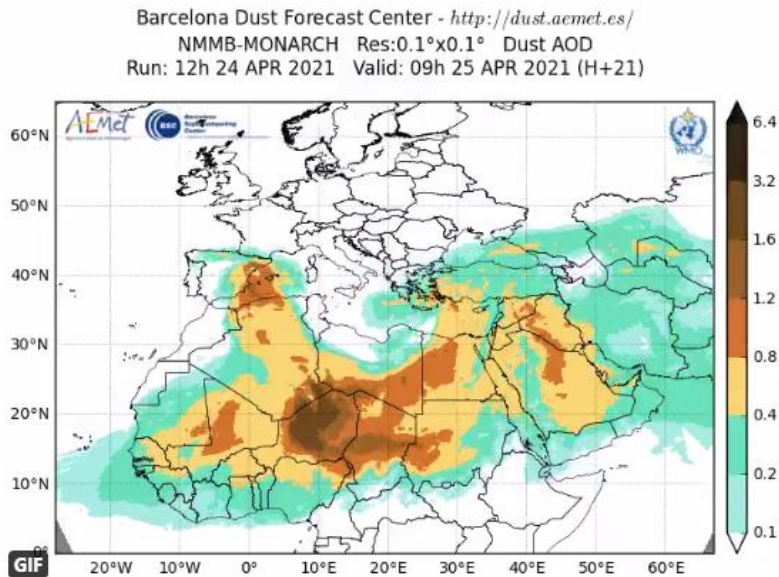
AOD	Profunditat òptica dels aerosols
AR4	Quart Informe d'Avaluació del IPCC
AR5	Cinquè Informe d'Avaluació del IPCC
AUST	Austràlia
BSC	Barcelona Supercomputing Center
CNN	Nuclis de condensació de núvols
EASIA	Àsia de l'est
EMIT	Earth Surface Mineral Dust Source Investigation
FAO	Organització de les Nacions Unides per l'Alimentació i l'Agricultura
FRAGMENT	Frontiers in dust mineralogical composition and its effects upon climate
G01	Ginoux et al. (2001)
HWSD	Harmonized world soil database
IN	Nuclis de gel
IPCC	Grup Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic
K14	Kok et al. (2014)
MA	Mitjana aritmètica
MB95	Martcorena and Bergametti (1995)
MEA	Orient Mitjà
MMT	Taules mineralògiques mitjanes
MONARCH	Multiscale Online Nonhydrostatic atmosphere chemistry model
MP	Mitjana ponderada per la textura del sòl
NAFRI	Nord d'Àfrica
NAMER	Nord Amèrica
SAMER	Sud Amèrica
SAFRI	Sud d'Àfrica
S04	Shao et al. (2004)
STATSGO-FAO	State Soil Geographic – Food and Agricultural Organization of the United Nations
TSD	Tipus de sòl dominant

1. Introducció

En els darrers anys, nombrosos estudis han pogut demostrar la influència dels aerosols, tant de fonts naturals com antropogèniques, en els sistemes atmosfèrics, terrestres i hidrològics, la qual cosa ha generat un gran interès de la comunitat científica per tal de poder entendre millor la seva composició, les seves fonts i el seu transport. La presència d'aerosols a l'atmosfera ha sigut documentada durant segles (ex. Darwin, 1846) però no ha cobrat una gran importància fins a les últimes dues dècades, on s'ha pogut demostrar que els aerosols poden jugar múltiples papers en la mediació d'intercanvis físics i biogeoquímics entre l'atmosfera, la terra i l'oceà, i en conseqüència s'ha pogut observar que és un component actiu i important del sistema climàtic global (Livingstone, 2019).

Podem definir la pols de diferents maneres, però la manera més comuna de definir-la és segons la mida de les partícules, normalment comprenen partícules i agregats inferiors a 100 μm de diàmetre. Les partícules de pols mineral en massa són el tipus d'aerosol més abundant en l'atmosfera, juntament amb les partícules provinents dels oceans (Querol, 2019). Donat que la pols mineral afecta a la qualitat de l'aire i interactua amb els diferents elements del sistema climàtic hi ha un interès cabdal per estudiar el cicle global de la pols i els seus efectes (Secció 1.1). Mitjançant l'ús d'observacions provinents de mesures d'estacions fixes, campanyes de mostreig específiques de pols, informació provinent de satèl·lits, etc., ens permeten fer un diagnòstic de la situació en el passat i en el present, però per tal de poder fer previsions i projeccions a futur s'ha d'utilitzar models numèrics, els quals es poden basar en observacions directes o en resultats d'experiments (models numèrics empírics) o en l'aplicació de lleis fisicoquímiques traduïdes com a equacions fonamentals (models numèrics deterministes) (Baldasano, 2020). Els models atmosfèrics i climàtics de pols usualment són models numèrics deterministes basats en la física i la química del sistema climàtic o atmosfèric, els quals es poden complementar amb observacions directes o parametritzacions empíriques per tal de millorar les prediccions. Normalment, els models atmosfèrics de pols s'utilitzen per realitzar prediccions a curt-mig termini i els models climàtics ens permeten fer prediccions a llarg termini. En la il·lustració 1 s'exemplifica una predicció regional de pols a curt termini d'un model

numèric atmosfèric. D'aquesta manera els models atmosfèrics i climàtics ens permeten analitzar en detall els processos que intervenen en el cicle global de la pols i els seus efectes en el clima i la qualitat de l'aire.

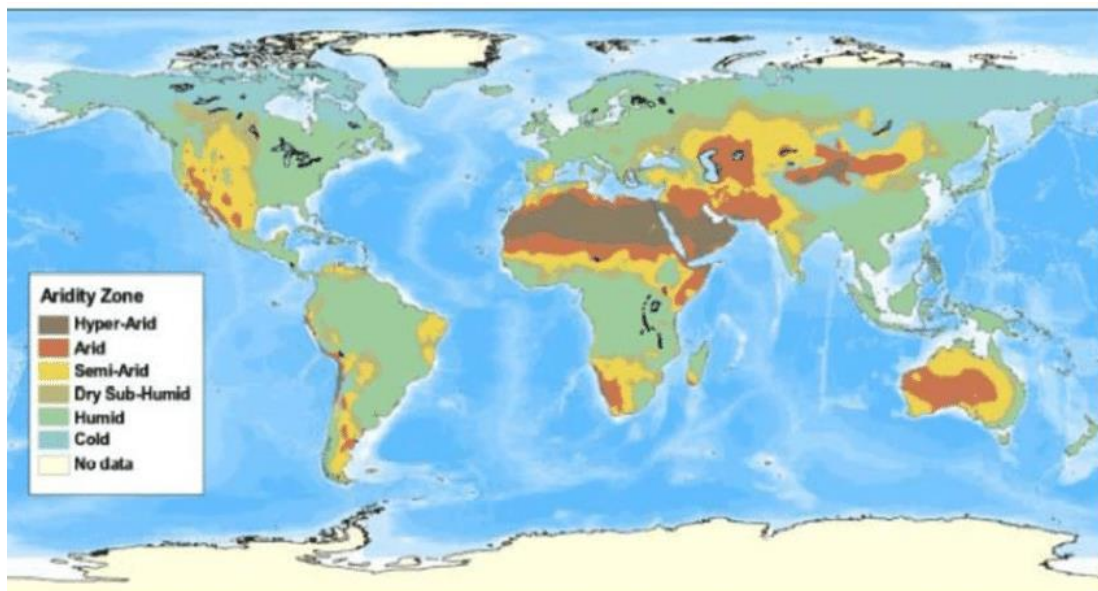


Il·lustració 1. Tempesta de pols sahariana sobre la península Ibèrica. Font: AEMET, 2021.

La majoria de models atmosfèrics de pols actuals coincideixen i estimen que l'emissió a l'atmosfera de pols mineral es mou entre un rang de 3400 -8900 Tg any⁻¹ amb una gran incertesa associada (Kok et al., 2021), mostrant grans diferències entre models en la representació d'aspectes crítics del cicle global de la pols, com ara la velocitat i la taxa d'emissió global de pols, la composició del sòl, la distribució de mida de les partícules de pols tant a l'aire com en el sòl, la profunditat òptica dels aerosols de pols (Profunditat Òptica dels Aerosols, AOD) i el flux de deposició (Livingstone, 2019; Kok et al., 2021). En conseqüència, la parametrització del procés que envolten el cicle global de la pols i la disminució de les incerteses associades plantegen un repte important per la comunitat científica tant pels models globals com regionals. En aquest sentit, hi ha aspectes importants per tal de poder millorar els models actuals i és important tenir en compte en els estudis de la pols mineral: l'abundància i caracterització de les fonts naturals (zones àrides i semi-àrides), la capacitat de les partícules de ser transportades a llargues distàncies i la complexitat de les propietats òptiques i físiques dels minerals que componen la pols mineral. En concret, l'emissió de pols suposa un dels processos amb més incertesa en els models (Kok et al., 2021), on actualment la majoria de models

consideren la pols com una entitat homogènia, però s'ha pogut comprovar com les variacions de la mineralogia de la pols poden modificar dràsticament els diferents efectes de la pols (Perlwitz et al., 2015). En conseqüència un coneixement més profund de les diferents composicions del sòl pot marcar diferències importants en els models atmosfèrics o climàtics de la pols i en els seus efectes.

La pols s'emet principalment a les zones àrides i semi-àrides del planeta, on les principals regions de fonts d'emissió són: Àfrica, Orient Mitjà, centre i nord-est d'Àsia, la Índia, la Patagònia i sud-oest dels Estats Units (Il·lustració 2), però en principi es poden emetre des de qualsevol superfície de terra seca descoberta en les condicions de vent apropiades, com per exemple, les emissions procedents de camps agrícoles (Ginoux et al., 2012; Livingstone, 2019; Klose et al., 2021). La pols mineral s'emet quan les forces que actuen per retenir les partícules del sòl a la superfície (gravetat i cohesió interpartícules) són superades per les forces d'elevació atmosfèriques generades pel vent i la turbulència (arrossegament aerodinàmic), o bé per la força generada per altres partícules que impacten en el sòl (saltació), i aquestes partícules poden arribar a ser transportades a milers de quilòmetres de la regió d'origen (Livingstone, 2019; Klose et al., 2021).



Il·lustració 2. Mapa mostrant les zones àrides i semi àrides del planeta. Font: Berhane, 2015.

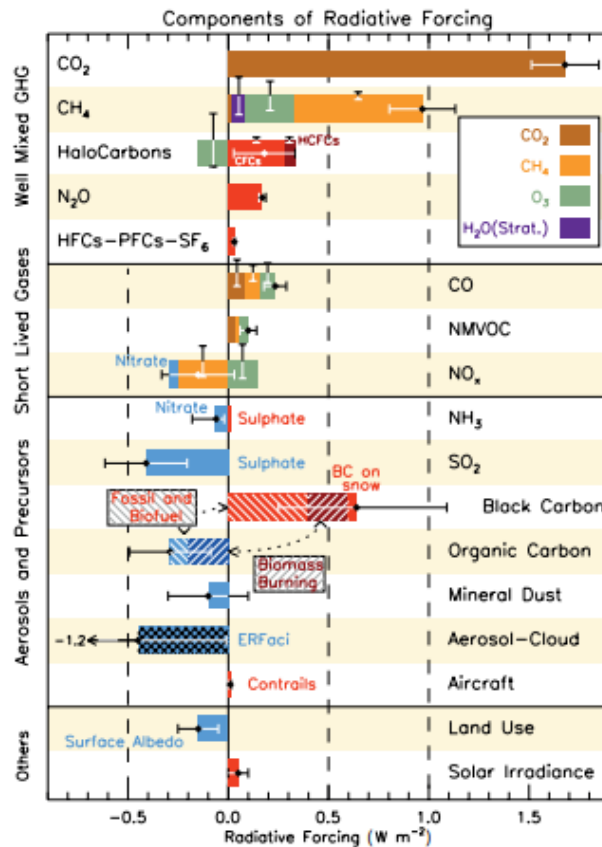
Una millora i un desenvolupament en els models actuals permetria un millor coneixement de l'emissió de pols mineral, la qual cosa ens permetria avaluar millor la seva implicació en el sistema climàtic global, de tal manera poder mitigar o adaptar-nos d'una manera més òptima a l'actual canvi climàtic, reduint així els seus efectes tant en el medi ambient, com la salut humana o en l'economia dels diferents països. Aquest treball sobretot se centra en l'estudi de la composició mineralògica dels sòls i la composició mineralògica de la pols emesa a escala global per tal de poder donar una visió actual sobre les incerteses en aquest àmbit.

1.1. Efectes de la pols mineral

La composició i la quantitat de pols mineral que es transporta i que està present a l'atmosfera pot afectar diversos processos atmosfèrics, terrestres i oceànics, però també afecta la salut humana i en conseqüència de tots els anteriors a l'economia mundial. A continuació, es resumeixen els principals impactes o processos en els quals la pols mineral i la seva composició juguen un paper important.

1.1.1. Pols mineral i la radiació

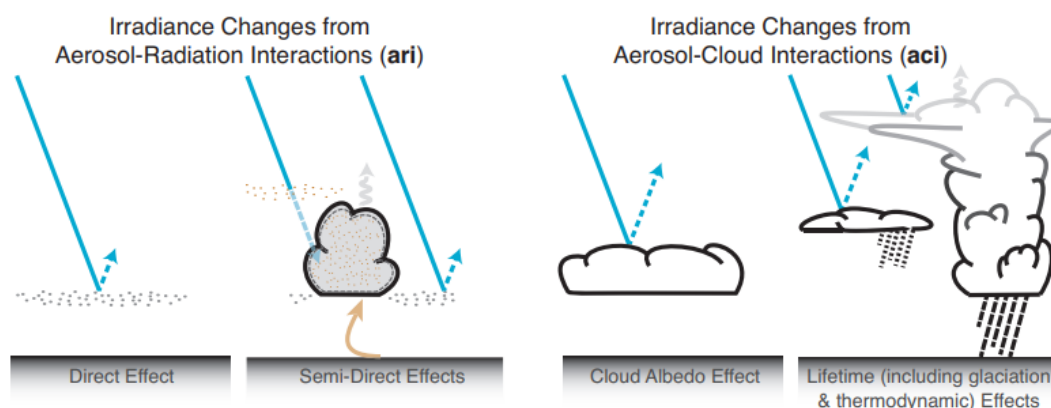
El balanç de radiació atmosfèrica representa els fluxos de radiació entrants i sortints cap al sistema climàtic i bàsicament està controlat pels aerosols atmosfèrics, núvols, l'albedo de la Terra, els gasos atmosfèrics i la radiació solar (Cavazos, 2015). El forçament radiatiu (diferència de la radiació entrant i l'energia de radiació sortint) pot ser positiu, significat un efecte d'escalfament sobre l'atmosfera del planeta o pot ser negatiu, representant un efecte de refredament. Tanmateix, els aerosols poden tenir un efecte directe per la interacció amb la radiació i un efecte indirecte pel seu rol en la formació de núvols.



Il·lustració 3. Balanç radiatiu global. Font: IPCC AR5, 2014.

En aquest sentit, la pols mineral juga un paper important en el forçament radiatiu i depèn sobretot de la composició d'aquest el seu efecte. En tot, hi ha moltes incerteses en la magnitud o la importància de la pols mineral en el balanç radiatiu global. De fet, segons el cinquè informe d'avaluació (AR5) del Grup Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (IPCC) estima que el forçament radiatiu de la pols mineral és de $-0.1 \pm 0.2 W/m^2$ (IPCC AR5, 2014) (Il·lustració 3), on es pot observar com la variabilitat del forçament radiatiu de la pols és molt gran, fent que el forçament radiatiu atribuït a la pols mineral pugui canviar de signe, podent tenir un efecte d'escalfament sobre el planeta. Tanmateix, aquestes estimacions només tenen en compte l'efecte directe de la pols mineral.

En la següent il·lustració es pot observar els efectes radiatius dels aerosols en l'atmosfera, distingint entre els efectes directes, semi-directes i indirectes dels aerosols.



Il·lustració 4. Esquema dels efectes radiatius dels aerosols en l'atmosfera. Font: AR4, 2007.

1.1.1.1. Efectes directes en la radiació

La pols mineral afecta directament a la radiació atmosfèrica modificant tant la radiació solar entrant com la radiació infraroja sortint. Principalment, l'efecte directe depèn de les propietats òptiques i físiques de la pols, tal com la dispersió i l'absorció de la radiació solar i tèrmica a la superfície terrestre i a la part superior de l'atmosfera. La quantitat de dispersió i absorció que presenten les partícules depèn de l'abundància, la longitud d'ona, la profunditat de l'atmosfera per on travessa la radiació, la composició i la mida de les partícules de pols (Claquin, 1999; Cavazos; 2015). Per tant, durant el transport de la pols mineral pot afectar el balanç radiatiu de l'atmosfera provocant un escalfament (mitjançant l'absorció) o un refredament (mitjançant la dispersió) segons les característiques i la posició de les partícules en l'atmosfera, tenint un impacte en la dinàmica atmosfèrica. No obstant això, és difícil saber si la pols atmosfèrica té un efecte d'escalfament o refredament sobre el clima global a causa de les limitacions que presenten els models actuals sobre l'abundància i la distribució de mida de la pols, on degut a les seves característiques, la pols fina (diàmetre $< 5 \mu\text{m}$) té un efecte negatiu sobre el balanç radiatiu i, la pols gruixuda (diàmetre $> 5 \mu\text{m}$) té un efecte positiu (Kok et al. 2017). A més, la pols està formada per diferents minerals, que segons les seves propietats absorbeixen preferentment una radiació d'ona més llarga o més curta. Per exemple, els òxids de ferro afavoreixen l'absorció de longituds d'ona més curta, en canvi, els minerals com la calcita o el quars absorbeixen més en longituds d'ona llarga. En

conseqüència, és essencial la caracterització de la pols mineral per tal de poder determinar l'efecte radiatiu de la pols mineral.

Per altra banda, l'absorció de la radiació solar per part de la pols pot modificar la temperatura de l'aire, la seva humitat i l'estabilitat vertical de la columna d'aire, afectant la formació i a la vida dels núvols (Efecte semi-directe) (IPCC, 2007).

1.1.1.2. Efectes indirectes en la radiació

L'efecte indirecte està relacionat amb la interacció de la pols mineral amb els núvols provocant canvis en les propietats radiatives dels núvols, la seva freqüència i el seu temps de vida. La pols mineral pot tenir dos efectes principals: el primer relacionat amb el fet que les partícules de pols poden actuar com a nuclis de condensació de núvols (CNN) i com a nuclis de gel (IN), modificant la concentració del nombre de gotes del núvol i provocant canvis en la cobertura i en la dinàmica dels núvols (Atkinson et al., 2013; IPCC,2007). En particular, un augment dels CNN i els IN provoca que els núvols continguin moltes més gotes d'aigua, i en conseqüència més petites, fent que els núvols siguin més reflectants, augmentant així el seu albedo i induint a un balanç radiatiu negatiu. El segon principal efecte està associat amb l'augment de la vida del núvol i els efectes sobre la precipitació que això comporta (Teller et al., 2008; IPCC ,2007).

En aquests processos l'estructura mineralògica de la pols juga un paper important, on particularment els minerals d'argila i els feldespat són especialment eficients com a IN (Atkinson, 2013).

1.1.2. Efectes en els cicles biogeoquímics

Els minerals transportats i dipositats per les partícules de pols són una font de nutrients que poden provocar canvis en la productivitat dels ecosistemes terrestres i marins, causant una fertilització a partir de la pols afegida a sòls sense nutrients i en les aigües oceàniques (Kanakidou et al.,2018).

La pols mineral conté una gran varietat de minerals i metalls en la seva composició, la major part en forma insoluble, però nombrosos estudis indiquen que la solubilitat augmenta durant el seu transport, gràcies en part per l'acidesa atmosfèrica i l'aigua continguda en els núvols augmentant així el seu impacte en els diversos ecosistemes (Kanikidou et al. 2018). Globalment, la pols mineral és una font important d'elements continguts en minerals, sobretot de ferro, fòsfor i silici, essent una gran font de nutrients i jugant així un paper important en els ecosistemes marins i terrestres (Claquin et al, 1999 ; Nickovic et al., 2012 ; Kanakidou et al., 2018). Aquest transport de nutrients pot fer augmentar la productivitat dels ecosistemes, com per exemple l'addició de ferro en aigües obertes lluny de zones costaneres on el ferro és un nutrient limitant, provocant un creixement en el plàncton, que en conseqüència pot influir en el clima i reduir la concentració atmosfèrica de diòxid de carboni (Nickovic et al, 2012; Martinez et al, 2014). Un altre exemple és l'impacte que tenen els minerals rics en fòsfor i ferro en l'Amazones, que són essencials pel creixement i nutrició de les plantes, compensant especialment els sòls pobres amb nutrients (Rizzolo et al. 2016).

1.1.3. Efectes en la química atmosfèrica

Durant el transport a llarga distància, les propietats físiques i químiques de les partícules de pols mineral canvien a causa de reaccions heterogènies amb els gasos traça de l'atmosfera, de reaccions fotoquímiques, a processos de coagulació amb altres partícules o amb la interacció dels núvols amb la pols mineral tenint un impacte en l'equilibri químic de l'atmosfera, on la mineralogia de la pols juga un rol rellevant en aquestes interaccions. Tots aquests processos afecten les propietats òptiques i higroscòpiques de les partícules de pols mineral influint en el balanç radiatiu, la nucleació dels núvols i els cicles biogeoquímics. Les partícules de pols mineral proporcionen superfícies reactives per a l'absorció d'aigua i altres components de l'atmosfera, i poden patir reaccions químiques i fotoquímiques. Aquestes partícules poden reaccionar amb els diferents gasos de l'atmosfera com el HNO_3 , el SO_2 , el NO_2 , O_3 , HCl , i substàncies orgàniques, afectant els cicles i balanços químics d'aquests gasos, així com la deposició àcida i el pH de la pluja (Sullivan et al., 2007; Tang et al., 2016).

Les partícules de pols es poden recobrir de partícules amb un gran poder higroscòpic, convertint-se en grans CNN o també poden modificar substancialment la seva composició reaccionant amb els elements de l'atmosfera, com és el cas de la calcita quan reacciona amb HNO_3 , formant un component amb un gran poder higroscòpic (Laskin et al., 2005).

1.1.4. Efectes sobre la salut humana

L'exposició a partícules de pols s'ha associat amb diversos efectes perjudicials sobre l'ésser humà i s'ha pogut observar una relació directa entre l'augment de la concentració de pols mineral en suspensió i l'augment d'efectes perjudicials sobre la salut. La pols pot causar problemes respiratoris i cardiovasculars (Meng and Lu, 2007) on la mida de les partícules és un factor determinant del potencial perill sobre la salut humana. Les partícules més grans de $10 \mu\text{m}$ no són respirables, i per tant únicament poden danyar òrgans externs. En canvi, les partícules més fines, inferiors a $10 \mu\text{m}$, poden penetrar en les vies respiratòries i entrar al torrent sanguini, on poden afectar tots els òrgans interns. Minerals com el quarz a causa de la seva estructura cristal·lina suposen un potencial risc com agent tòxic per a la salut humana, a més hi ha indicis que altres minerals com la kaolinita o els òxids de ferro podrien causar afectacions pulmonars (Fubini et al, 2007). Per altra banda, algunes malalties infeccioses, com la meningitis, es poden transmetre a través de la pols, i s'ha pogut observar un caràcter estacional on s'ha pogut relacionar les condicions ambientals i les condicions de pols amb brots de meningitis (Pérez et al, 2014; World Meteorological Organization, 2018).

1.2. Fonts i transport de la pols mineral

A nivell global i en les condicions actuals la major part de la pols mineral prové de les regions àrides i semi-àrides, es calcula que les regions del Sàhara i del Sahel (Nord d'Àfrica) són la font de més del 50 % de les emissions de pols de la Terra (Livingstone, 2019). La majoria de les emissions de pols es produeixen en regions on la superfície terrestre és erosionable a causa de la manca de vegetació o d'altres elements que

aporten rugositat al terreny, zones amb baixa humitat i on hi ha vents prou forts i turbulents per a arrossegar i aixecar les partícules del sòl. No obstant això, moltes de les fonts de pols més importants no són regions amb emissions uniformes, sinó que hi ha una gran variabilitat espacial i temporal. Altres fonts importants de pols mineral són els llacs secs on els sediments de pols no estan consolidats i són fàcilment transportables pel vent (Querol,2019), i l'emissió de pols provinent dels sòls agrícoles, la qual és la major font de pols antropogènica (Tegen et al., 2002).

Per altra banda, la contribució antròpica de les emissions de pols no és menyspreable i és actualment una gran font de discussió, amb un percentatge sobre l'emissió que pot anar des del 10 % (Tegen et al, 2004) fins a valors del 50 % (Mahowald and Luo, 2003). Això és degut a les grans diferències en el modelatge de les emissions i la dificultat de diferenciació entre fonts de pols natural i antròpica. Aquesta contribució antròpica prové principalment de la pertorbació i dessecació de llacs, les pràctiques agrícoles i l'expansió dels terrenys de pastura del bestiar (Ginoux et al., 2012; Querol et al.,2019). Per altra banda, l'actual canvi climàtic pot jugar un paper important en les fonts i la quantitat de pols emesa, a causa del possible augment dels episodis de vent i de la freqüència d'èpoques de sequera poden augmentar així les possibles fonts de pols.

Taula 1. Emissions anuals de pols per les diferents principals regions emissores de pols. Font: Querol et at, 2019.

Regió	Milions de tones / any
Nord Àfrica (Sàhara i Sahel)	790-840
Àsia de l'est (Gobi i Taklamakan)	140-220
Orient Mitjà	13 -20
Àsia central	10-60
Austràlia	10-60
Sud Amèrica (Atacama)	10-60
Sud Àfrica	10-60
Sud del EEUU i Nord de Mèxic	2- 60

La mida de les partícules de la pols emesa depèn de les característiques de la zona d'origen, de la seva composició, dels diferents mecanismes d'emissió de la pols i de les condicions meteorològiques. En la taula 2 es pot observar com el transport varia segons la mida de les partícules, on el transport a llarga distància està format sobretot per partícules entre 2-50 μm . Això és degut al fet que les partícules més grans (formades principalment per sorra), la gravetat fa que es dipositin abans. Per altra banda, les partícules més fines acostumen a ser més difícils de transportar, ja que estan unides al sòl per la humitat i per forces electrostàtiques dificultant així el seu moviment (Livingstone, 2019).

Els mecanismes d'emissió es poden produir de diverses maneres, que principalment depenen de la mida de les partícules i de la velocitat del vent : i) arrossegament directe pel vent, ii) arrossegament de pols per l'impacte de grans o agregats de mida gran (saltació). Les partícules de sorra o partícules agregades ($\sim 100 \mu\text{m}$) són les primeres que es mobilitzen per arrossegament i aquestes partícules salten i reboten pel procés que es coneix com saltació, on l'impacte d'aquestes amb el terra pot mobilitzar una àmplia gamma de mides, essent la saltació la principal via de mobilització i transport de les partícules de pols (Kok, 2012 ; Livingstone, 2019)). El procés de la saltació permet que s'emetin partícules fines a l'atmosfera i també dificulta molt la representació en els models actuals. Per tal de representar l'emissió de pols en els models, molts autors defensen que la distribució de mides en emissió depèn de la velocitat del vent però portant a resultats contradictoris (Kok, 2011). Per altra banda, un conjunt d'estudis al·leguen que la mida de la pols disminueix amb l'augment de la velocitat del vent i que no hi ha una dependència clara de la velocitat del vent amb l'emissió de pols (Alfaro et al., 1998). Seguint amb aquesta teoria, Kun i Herrmaan (1999) i Kok (2011) van proposar i argumentar que l'emissió de pols a través de la fragmentació d'agregats per saltació (principal via de mobilització de les partícules de pols) és anàloga a la fragmentació de materials fràgils com el vidre i, mitjançant aquesta analogia van poder obtenir una expressió analítica per a la distribució de mida dels aerosols de pols emesos, sense dependre de la velocitat del vent i únicament depenen de les propietats dels components emesos.

Taula 2. Característiques del transport local, regional i global de la pols. Font: Adaptació de Livingstone, 2019.

	Distància de la font	Taxa de deposició	Mida de la partícula		
			< 2 µm (%)	2 – 50 µm (%)	> 50 µm (%)
Transport	km	$\text{g m}^{-2} \text{any}^{-1}$	< 2 µm (%)	2 – 50 µm (%)	> 50 µm (%)
Local	0 - 10	50 -500	20	50	30
Regional	10 - 1000	1 - 50	25	60	15
Global	> 1000	0 - 1	30	70	0

Per altra banda, hi ha una gran variabilitat temporal en les emissions de pols en diferents escales de temps, des d'una escala temporal diària (rellevant per la predicció regional i controlada bàsicament per la meteorologia) a una escala estacional (controlada també per la meteorologia) a una escala interanual (controlada pel clima i les modificacions en la superfície terrestre) (Querol et al; 2019).

1.3. Composició de la pols mineral

La pols mineral està formada pels diferents components que hi ha en l'escorça terrestre i és un complex conjunt de diversos minerals amb propietats fisicoquímiques que poden variar molt d'un mineral a un altre, i amb una gran variabilitat espacial. Els principals minerals que la componen són: minerals d'argila (kaolinita, smectita, illita, clorita, vermiculita...), silicats (quartz), feldespats, carbonats de calci i de magnesi (calcita, dolomita...), òxids de ferro (hematita, magnetita, goethita) i altres òxids d'altres metalls, sals de sofre i de calci, fosfats, entre d'altres (Claquin et al, 1999).

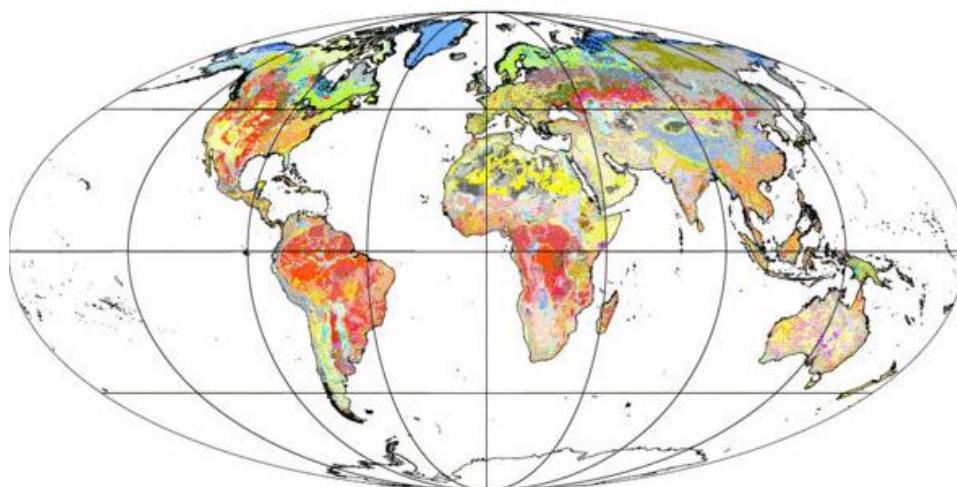
Taula 3. Composició mineralògica de la pols del desert. Font: Querol et al, 2019.

Minerals typically present in desert dust. Asterisks indicate abundance: ***** very high (tens of wt%) to * low (< 1 wt%).

Silicates & aluminium-silicates	Silicates	Quartz	SiO ₂ (mineral grains or diatomea fragments)	*****	
		Clay minerals	Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	****
	Illite		(K,H ₃ O)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ (H ₂ O)]	****	
	Chlorite		((MgFe) ₅ Al)(AlSi ₃)O ₁₀ (OH) ₈	***	
	Palygorskite		(Mg,Al) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH)·4(H ₂ O)	***	
	Montmorillonite		(Na,Ca) _{0.33} (Al,Mg) ₂ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂ nH ₂ O	***	
	Feldspars		Albite	NaAlSi ₃ O ₈	**
			Anorthite	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	**
			Microcline/orthoel.	KAlSi ₃ O ₈	**
	Other silicate	Zircon	ZrSiO ₄	*	
Hornblende		Ca ₂ (Mg,Fe,Al) ₅ (Al,Si) ₈ O ₂₂ (OH) ₂	*		
Carbonates	Ca & Mg carb.	Calcite	CaCO ₃	*****	
		Dolomite	(CaMg) ₂ CO ₃	**	
Oxides	Iron oxides	Hematite	Fe ₂ O ₃	**	
		Magnetite	Fe ₃ O ₄	*	
		Goethite	α-FeO(OH)	**	
	Other oxides	Anatase & rutile	TiO ₂	*	
Salts	Chlorides	Halite	NaCl	*	
	Sulphates	Gypsum	CaSO ₄ ·2H ₂ O	**	
		Tenardite	Na ₂ SO ₄	*	
		Epsomite	MgSO ₄	*	
Phosphates		Apatite	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	*	

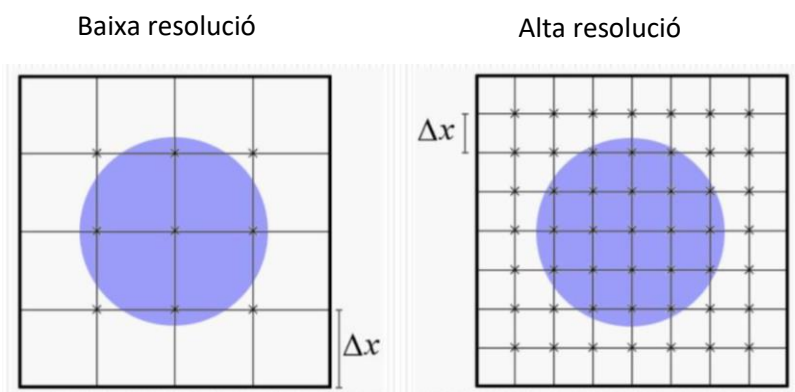
Segons la proporció relativa de les diferents mides de partícules i agregats del sòl podem distingir tres fraccions o textures dels sòls: la fracció d'argila (< 2 µm), la fracció de llims (2 – 63 µm) i la fracció de sorra (> 63 µm) (Wentworht,1922). Les textures del sòl més rellevants per a l'emissió de pols són els minerals presents en la fracció d'argila i en la fracció de llims a causa de la seva mida. Els minerals estan distribuïts entre les diferents fraccions segons la mida de les partícules. Alguns d'aquests minerals tal com els minerals d'argila únicament estan presents en la fracció més fina de la pols (fracció d'argila) però hi ha altres minerals que poden estar presents tant en la fracció de llims com en la fracció d'argila. En la taula 3, es pot observar la composició mineralògica de la pols del desert, així com l'abundància relativa dels diferents minerals (Querol et al., 2019). Segons les característiques i propietats dels sòls es poden definir diversos tipus o unitats del sòl, els quals tenen uns trets diferenciats d'altres tipus de sòl i una composició mineralògica determinada, però, no hi ha una única classificació establerta sinó que segons l'objectiu que es vulgui, es poden classificar d'una manera o d'una altra. Un exemple, són els mapes mundials d'unitats del sòl de la FAO (Organització de les Nacions Unides per l'Alimentació i l'Agricultura) que classifiquen els diferents sòls del món basant-se en diferents descripcions del sòl provinents de múltiples estudis, permetent obtenir una distribució geogràfica de diferents unitats del sòl, i la majoria d'altres mapes de les unitats del sòl es basen en les descripcions donades per la FAO.

Digital Soil Map of the World



Il·lustració 5. Mapa de les diferents unitats del sòl considerades per la FAO l'any 1074. Font: FAO, 2021.

Les característiques geològiques de cada zona i els processos geomorfològics que tenen lloc a la superfície erosionable són els determinants de la composició de la pols mineral del sòl (Perlwitz et al., 2015) i en conseqüència de la composició de la pols emesa. La interacció i els efectes de la pols mineral en el clima o en els diferents ecosistemes depèn bàsicament de la seva composició, per tant, és essencial tenir un coneixement elevat sobre la composició dels sòls. Actualment, hi ha tres bases de dades sobre la composició del sòl a escala global (Claquin et al., 1999; Journet et al.; 2014 i Ito et al., 2017) que ens permeten definir la composició mineralògica global amb el possible ús en els models atmosfèrics i climàtics actuals, però si es volen utilitzar es necessita l'ús de mètodes d'agregació per poder passar de l'alta resolució en la qual estan les bases de dades (resolució entre 1-10 km) a una resolució adequada per la utilització en els models a nivell global (resolució aprox. 100 km) (Il·lustració 6). S'ha de tenir en compte que els models tant climàtics com atmosfèrics treballen a una resolució adequada per tal que puguin resoldre les equacions del sistema amb una capacitat computacional raonable, per aquest motiu no es pot integrar directament les bases de dades de la mineralogia als models.



Il·lustració 6. Gràfic dreta: Representació gràfica d'una malla d'alta resolució a mode d'exemple de les bases de dades de la mineralogia global, On Δx seria entre 1 -10 km. Gràfic esquerre: Representació gràfica d'una malla de baixa resolució a mode d'exemple de la resolució dels models climàtics o atmosfèrics a nivell global. On Δx seria al voltant dels 100 km.

La mesura d'aquesta composició dels sòls que tenim actualment es basa bàsicament en una relació entre la composició mineral i els diferents tipus de sòl, la qual està fonamentada en un nombre molt limitat de mesures i s'assumeix que la variabilitat de la mineralogia dins del mateix tipus de sòl és negligible. Per altra banda, la majoria de les mesures es basen en tècniques de sedimentació humida (*wet sieving*), les quals alteren les mostres de sòl trencant els agregats. Per tant, la sedimentació humida no dóna una representació real sobre la distribució de mida de les partícules del sòl. En tot, hi ha tècniques per minimitzar aquestes ruptures dels agregats, però les mesures basades en aquestes noves tècniques són molt limitades i normalment s'utilitzen models per poder aproximar la distribució de mida real dels sòls (Kok, 2011; Perlwitz et al., 2015). Però, no solament és important saber la composició del sòl sinó també la composició de les partícules emeses, en aquest sentit i seguint la teoria de Kok (2011) que es basa en la fragmentació de minerals fràgils es pot arribar a aproximar la composició de la pols en emissió mitjançant la distribució de mides del sòl pertorbat per la tècnica de la sedimentació humida.

En conseqüència dels apartats anteriors, es pot observar com hi ha una gran incertesa en el coneixement de la composició de la pols mineral: i) la incertesa que es té sobre les bases de dades de composició del sòl i les seves aproximacions, ii) la incertesa sobre la distribució de mides del sòl, iii) la incertesa sobre els mecanismes d'emissió i la distribució de mides d'emissió. A aquestes incerteses, quan es vol reproduir a nivell global l'emissió

de pols, si han de sumar altres incerteses, tals com, la incertesa intrínseca en la meteorologia i la velocitat del vent, la incertesa en la rugositat del sòl a nivell global i la incertesa de la humitat en les capes superiors del sòl.

La composició mineralògica dels sòls té un gran nombre d'incerteses associades i s'ha comprovat com una millor integració i coneixement de la composició mineralògica global en els diferents models globals d'emissió de pols pot marcar una gran diferència en l'avaluació dels efectes que té la pols mineral en els processos atmosfèrics, terrestres, oceànics i en la qualitat de l'aire. En tot, hi ha projectes a nivell global per tal de poder disminuir aquestes incertes sobre la composició dels sòls. Un clar exemple és el projecte EMIT (Earth Surface Mineral Dust Source Investigation) de la NASA, el qual pretén fer un nou mapa sobre la mineralogia superficial de les regions de fonts de pols mitjançant un instrument d'electroscòpia d'infraroig visible i d'ona curta instal·lat en l'estació espacial internacional, que permetrà tenir una nova visió d'alta resolució de la composició del sòl i dels minerals que el conformen (Green et al., 2020). D'aquesta manera es podrà entendre millor i amb més exactitud el paper de la pols mineral en el clima i en els diferents ecosistemes. En tot, l'electroscòpia d'infraroig visible no ens permet obtenir resultats sobre la concentració de quars i feldespats, fent necessària l'ús de les bases de dades de la mineralogia del sòl per tal de complementar la informació provinent del projecte EMIT.

2. Objectius

En aquest treball es pretén analitzar l'estat actual de les diferents bases de dades de la mineralogia del sòl global, estudiar diferents mètodes d'integració de les diferents bases de dades en models numèrics de química atmosfèrica i avaluar l'efecte de la mineralogia de la pols en diferents esquemes d'emissió de pols.

Objectius:

- 1) Analitzar les diferències de les bases de dades disponibles de la mineralogia del sòl global i les seves incerteses.
- 2) Comparar i analitzar els diferents mètodes d'agregació de la mineralogia global per passar d'una alta resolució a una baixa resolució per la implementació en un model numèric de pols.
- 3) Analitzar la influència de les incerteses de l'emissió en la mineralogia en la mineralogia de la pols a nivell global i regional, considerant els valors d'emissió de pols proporcionats per diferents integracions d'un model numèric de pols a nivell global realitzades amb diferents esquemes d'emissió de pols.

Aquest treball s'ha dut a terme en el context del grup de Composició Atmosfèrica del Departament de Ciències de la Terra del Barcelona Supercomputing Center (BSC) i en concret dins el projecte europeu FRAGMENT (Frontiers in dust mineralogical composition and its effects upon climate) que té com a principal objectiu entendre i conèixer la composició mineralògica global de la pols juntament amb els seus efectes sobre el clima. A més, aquest treball també s'integra dins del projecte de EMIT de la NASA per tal de poder ajudar a estimar millor la composició mineralògica global i així poder fer una millor estimació de les mides i de les fraccions minerals emeses.

3. Metodologia

En aquesta secció es presentaran les principals eines i metodologies dutes a terme per tal de complir els objectius marcats anteriorment: primer es detalla com s'ha fet la comparació entre les bases de dades disponibles de la mineralogia del sòl (secció 3.1), en la secció 3.2 s'explica els diferents mètodes d'agregació de la mineralogia del sòl i com s'ha dut a terme la comparació entre ells, i finalment en la secció 3.3 es fa una breu introducció al model MONARCH i els diferents esquemes d'emissió de pols implementats en el model, per poder finalment definir i explicar els diferents mètodes d'emissió utilitzats en aquest treball. El tractament de les dades s'ha realitzat mitjançant els llenguatges de programació de R i Python.

3.1. Comparació de les bases de dades de la mineralogia del sòl

Amb l'objectiu de dur a terme la comparació de les tres bases de dades de la mineralogia del sòl actuals s'han analitzat els diferents treballs publicats on s'expliquen els detalls de les bases de dades. Aquests treballs són: Claquin et al. (1999) i la posterior complementació de Nickovick et al. (2012), el treball de Journet et al. (2014) i el treball de Ito et al. (2017). En aquests termes, s'ha estudiat tant la metodologia per tal de crear les diferents bases de dades com les suposicions dutes a terme per cada treball, així com les incerteses associades a cada treball. D'aquesta manera ens permet realitzar una comparació quantitativa i qualitativa completa de la composició mineralògica dels sòls per entendre amb profunditat com està l'estat actual de les bases de dades de la mineralogia del sòl i poder-les aplicar el millor possible als models atmosfèrics o climàtics. En aquest sentit, en aquesta secció s'ha decidit centrar-se en la regió de Nord Amèrica en relació al projecte EMIT de la NASA i en l'interès cabdal de saber les incerteses amb més exactitud sobre aquesta regió. En concret, sobre l'àrea del llac Salton (Desert de Sonora, EUA) que actualment s'està fent servir com a zona pilot per provar algoritmes que permetran donar informació de la composició mineralògica dels sòls a partir d'imatges espectrogràfiques. D'aquesta manera es pretén comparar les imatges que

actualment es disposen, obtingudes mitjançant un espectròmetre d'imatges d'infraroig/visible (AVIRIS) sobre la regió del llac Salton amb la informació actual de les diferents bases de dades. Per altra banda, en aquesta secció del treball s'analitzen els resultats obtinguts dels tres minerals en la fracció d'argila a mode d'exemple (kaolinita, illita i quars).

3.2. Comparació dels diferents mètodes d'agregació de la mineralogia del sòl

Els diferents mapes de la mineralogia global de Claquin, Journet i Ito estan a una alta resolució espacial, en concret de 0.083° (aprox. 9.2 Km), 0.0083° (aprox. 0.9 Km) i 0.033° (aprox. 3.7 km) respectivament, i per poder integrar aquestes bases de dades a models atmosfèrics s'ha d'utilitzar un mètode d'agregació que ens permeti passar d'uns mapes d'alta resolució a mapes de més baixa resolució, en concret a la resolució de 1° latitud x 1° longitud (aprox. 100 km x 100 km), la qual és la resolució típica dels models climàtics.

Per tal de poder entendre aquest apartat és necessari comprendre que segons la resolució es divideix el globus terraquí en un conjunt de cel·les, és a dir, si tenim una resolució de 1° latitud x 1° longitud tenim informació sobre la mineralogia del sòl cada 1° latitud i 1° longitud, creant el que s'anomena una cel·la d'informació de 1×1 . En conseqüència de l'anterior, com major és la resolució un major nombre de cel·les tenim en total, per tant al passar de mapes d'alta resolució a baixa resolució estem integrant un conjunt de cel·les d'alta resolució que formaran part d'una sola cel·la de baixa resolució. Per tal de dur a terme aquesta integració es pot utilitzar tres enfocaments o mètodes d'agregació:

- Tipus de sòl dominant (TSD): consisteix en l'elecció del sòl dominant, quan en una cel·la de baixa resolució hi ha més d'un tipus de sòl, és a dir, en les cel·les de baixa resolució on hi hagi més d'un tipus de sòl únicament es tindrà en compte el tipus de sòl que predomini en l'àrea de la cel·la de baixa resolució. Un cop escollit el tipus de sòl per cada cel·la de baixa resolució s'integra la mineralogia del sòl per cada tipus de sòl mitjançant les taules de mineralogia mitjanes.

- Mitjana aritmètica (MA): consisteix en dur a terme una mitjana aritmètica de la mineralogia del sòl tenint en compte totes les dades dels diferents minerals presents en una cel·la de baixa resolució.
- Mitjana ponderada per la textura del sòl (MP): consisteix en el mateix procediment que l'anterior mètode però en aquest cas fem una mitjana de la mineralogia del sòl ponderada per les diferents textures del sòl, és a dir, es té en compte el percentatge d'argila i de llims presents en el sòl. Aquesta informació de la textura del sòl global la podem extreure del HWSD (Harmonized world soil database) (HWSD; FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2009) o del STATSGO-FAO (State Soil Geographic – Food and Agricultural Organization of the United Nations) (FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC,2012).

El HWSD i el STATSGO-FAO ens proporcionen informació sobre la textura del sòl, és a dir, ens proporcionen informació sobre la proporció d'argila, llims i sorra en les diferents unitats del sòl. En aquest sentit el HWSD té definits un total de 221 unitats del sòl amb informació sobre la textura del sòl i pel contrari el STATSGO-FAO defineix un total de 16 unitats del sòl amb informació sobre la textura del sòl.

L'objectiu d'aquest apartat és dur a terme una anàlisi de sensibilitat dels diferents mètodes d'agregació per tal de poder analitzar els diferents mètodes d'agregació que es podrien dur a terme per integrar als models la informació que el projecte EMIT ens aporta, tenint en compte que s'obtindrà informació de la composició mineralògica dels sòls a una resolució de l'orde de 60 m a nivell global. D'aquesta manera s'intenta observar primer la integració per tal de passar d'alta resolució a baixa resolució i, posteriorment s'analitza les diferències en l'ús dels diferents mètodes d'agregació.

3.3. Anàlisi de la influència de les incerteses de la emissió en la mineralogia de la pols mineral a nivell global

Amb la finalitat d'analitzar les diferències en la mineralogia de la pols a nivell global derivades de l'ús de diferents definicions de l'emissió de pols es fan servir els resultats obtinguts pel model numèric de pols mineral Multiscale Online Nonhydrostatic Atmosphere Chemistry: MONARCH. En aquesta secció es presenten les principals característiques del model MONARCH i quatre diferents esquemes d'emissió de pols implementats en aquest model. Per altra banda, s'expliquen els mètodes d'emissió utilitzats per poder calcular l'emissió de la mineralogia global per Claquin i per Journet.

3.3.1. MONARCH

El model MONARCH (Multiscale Online Nonhydrostatic atmosphere chemistry model) és un model online i multi-escala de pols atmosfèrica, dissenyat i desenvolupat pel Barcelona Supercomputing Center (BSC) en col·laboració amb el Centre Nacional de Predicció Ambiental (NCEP) de la NOAA, l'institut Goddard d'Estudis Espacials de la NASA i l'Institut Internacional de Recerca per al Clima i la Societat (IRI). El model està dissenyat per proporcionar previsions de pols a curt o mig abast tant per dominis regionals com globals.

El model MONARCH presenta una solució al balanç de massa de la pols tenint en compte: els processos de generació i elevació de la pols pel vent superficial i pel vent turbulent, tenint en compte els processos de saltació i el posterior sorrejat provocat per la saltació, utilitzant una textura global del sòl del STATSGO-FAO, els efectes de la humitat del sòl per la producció de pols, l'advecció horitzontal i vertical, la difusió horitzontal i el transport vertical per turbulència i convecció, la deposició seca i un model de transferència ràpida que permet tenir en compte els efectes dels aerosols i de la pols minerals de forma interactiva amb la radiació (Pérez et al; 2011). La distribució de les mides de la pols es representa mitjançant un model seccional amb vuit blocs dividits en els següents diàmetres: 0.2–0.36, 0.36–0.6, 0.6–1.2, 1.2–2.0, 2.0–3.6, 3.6–6.0, 6.0–12.0 i 12.0–20.0

μm , on els quatre primers blocs representen la fracció d'argila de la pols i el quatre últims blocs representen la fracció de llims de la pols. Per altra banda, per tal d'afegir la mineralogia en el model, actualment s'utilitza el mètode d'agregació segons els tipus de sòl dominant.

3.3.2. Esquemes d'emissió de la pols

En el model MONARCH hi ha disponibles múltiples parametritzacions de l'emissió de la pols que cobreixen diferents alternatives per tal de poder estudiar el cicle global de la pols. En aquest estudi, ens centrem en diverses opcions per tal d'estudiar l'emissió de pols generada per la saltació. En aquest sentit, s'estudien quatre esquemes d'emissió de la pols basats en diferents maneres d'afrontar l'emissió de la pols per saltació:

- Marticorena and Bergametti (1995) (MB95): esquema d'emissió de la pols basat en la naturalesa del sòl i la seva rugositat el qual determinarà les fonts d'emissió, en funció del vent. El flux d'emissió vertical és directament proporcional al flux de saltació.
- Ginoux et al. (2001) (G01): en aquest esquema no s'inclou directament el flux de saltació, intenta evitar la necessitat de descripcions detallades del sòl i, identifica les zones potencials d'emissió de pols en les regions topogràficament baixes i amb una superfície del sòl descoberta.
- Shao et al. (2004) (S04): esquema d'emissió basat fonamentalment en la física, on se suposa que la física de l'esquema d'emissió explica les variacions espacials de la massa de pols emesa. Calcula l'emissió de pols segons la mida de les partícules segons la funció del volum de sòl eliminat a l'impactar les partícules de saltació amb el sòl. A més, considera el trencament de les partícules agregades en el procés de saltació.
- Kok et al. (2014) (K14): esquema d'emissió basat fonamentalment en la física, on se suposa que la física de l'esquema d'emissió explica les variacions espacials de la massa de pols emesa. Utilitza la teoria de la fragmentació de materials fràgils

per a calcular l'emissió de pols segons la distribució de mida de les partícules per saltació.

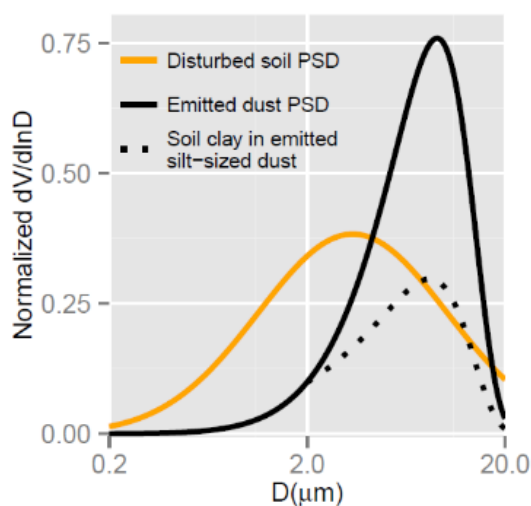
Per tal de poder treballar amb aquests esquemes d'emissió de la pols s'utilitzen els resultats de Klose et al. (2021) sobre l'emissió de pols global, els quals ja han sigut implementats en model MONARCH, i permeten d'una manera senzilla poder-los utilitzar per a estudiar la mineralogia en emissió, tenint en compte els diferents esquemes d'emissió. Els resultats de Klose et al. (2021) tenen una resolució espacial de 1° latitud x 1.4° longitud i es centren en l'emissió de pols l'any 2012.

3.3.3. Mètode d'emissió de la mineralogia al sòl

Els diferents esquemes anteriors el seu objectiu principal és l'estudi de l'emissió de la pols, però en aquest treball ens interessa conèixer l'emissió de la mineralogia. Per tant, per poder implementar la mineralogia en els diferents esquemes d'emissió s'utilitza un mètode basat en la teoria de la fragmentació de materials fràgils (Kok, 2011) per poder calcular la fracció mineralògica en emissió, la qual mitjançant els càlculs de Klose et al. (2021) de l'emissió de pols global ens permeten conèixer l'emissió mineralògica global.

Tal com s'ha vist en la introducció, la mineralogia del sòl no correspon directament amb la mineralogia de la pols emesa, per tant, no es pot aplicar directament els resultats que obtenen les diferents bases de dades de la mineralogia. Per poder aproximar l'emissió de pols s'utilitza el mètode basat en la teoria de la fragmentació de materials fràgils, on la distribució de la pols emesa és aproximadament independent de la velocitat del vent i de les propietats del sòl (Kok, 2011), i es regeix principalment per la saltació de partícules agregades. Seguint aquesta teoria, la distribució dels agregats emesos es desplaça cap a diàmetres més grans respecte a la distribució dels sòls pertorbats per les tècniques de mesura de la mineralogia del sòl (sedimentació humida) i, en conseqüència hi ha una major emissió de la fracció de llims (Il·lustració 7). Tanmateix, la teoria de Kok (2011) només es vàlida per a diàmetres de partícula inferiors a 20 µm, ja que partícules més grans no es formen pel procés de saltació. Seguint la metodologia de Perlwitz et al. (2015), que es basa en la teoria de Kok (2011), descriu la fracció mineral en emissió pels vuit blocs de la distribució de mida implementat en el model MONARCH, on es fa una distribució de massa normalitzada per cada mineral segons la fracció d'argila o de llims, realitzant un ajust a la

distribució de mides de les partícules de Kok (2011) i calculant quina fracció de mineral es correspon en cada bloc de la distribució de mida del model MONARCH. Aquest ajust en la distribució de mides en emissió es pot dur a terme realitzant diverses consideracions, en aquest treball ens centrem en l'anàlisi de si es té en compte la textura del sòl com una constant o com una variable segons el tipus de sòl per a calcular les fraccions minerals en emissió. D'aquesta manera s'han considerat les dues possibilitats, la qual anomenarem mètode 51 a la distribució de mides en emissió que utilitza la textura del sòl com una constant. Per altra banda, el mètode 52 utilitza la textura del sòl com una variable de cada unitat del sòl per calcular la distribució de mides en emissió dels diferents minerals. En concret, en el mètode 52 s'utilitza la informació de la textura del sòl del STATSGO-FAO (FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC,2012).



Il·lustració 7. Distribució de mida de l'emissió de pols (línia negra) en comparació a la distribució de mida de la pols en el sòl pertorbat per les tècniques de mesura (línia taronja). Font: Pelwitz et al.,2015.

Utilitzant els resultats de Perlwitz et al. (2015) on s'aproxima l'emissió per cada mineral, tant de la mineralogia de Claquin com de Journet per cada unitat del sòl i juntament amb els diferents esquemes d'emissió es pot calcular l'emissió mineralògica de la pols mineral a alta resolució. En conseqüència, és necessari utilitzar els diferents mètodes d'agregació per passar del conjunt de dades d'alta resolució a baixa resolució per tal de poder utilitzar els diferents esquemes d'emissió, els quals estan a una resolució de 1 ° latitud x 1.4 ° longitud. Per tant, es tindran en compte els diferents mètodes d'agregació presentats en la secció 3.2.

Primerament, s'analitza en l'apartat 6 l'emissió mineralògica segons el tipus de sòl dominant (TSD) per tal d'analitzar les diferències entre les diferents mineralogies del sòl i el comportament dels diferents esquemes d'emissió. Seguidament, s'analitzen les diferències entre l'ús dels diferents mètodes d'agregació, per poder fer finalment una anàlisi de sensibilitat entre els dos mètodes d'emissió considerats, utilitzant el mètode d'agregació del TSD. En les dues primeres seccions els càlculs únicament es duent a terme utilitzant el mètode d'emissió 51.

4. Bases de dades de la mineralogia global

La compressió i la quantificació de la influència de la pols a nivell global requereixen del desenvolupament d'eines per poder entendre la repartició i composició global dels sòls, sobretot en les zones àrides i semi-àrides, en especial la fracció del sòl que és capaç de ser elevada pel vent i ser transportada a llargues distàncies. Aquesta fracció de sòl amb aquestes característiques es compon principalment per les partícules més fines de la textura del sòl, és a dir, de la fracció d'argila i la fracció de llim, on cada fracció té unes característiques, una composició i unes propietats específiques. Per tant, tenir una base de dades fiable que aportí informació de la composició mineralògica global de la fraccions més fines és essencial per poder millorar els diferents models atmosfèrics i climàtics, i en conseqüència poder incrementar el coneixement actual dels efectes de la pols mineral sobre el planeta.

Actualment, hi ha tres bases de dades sobre la mineralogia que donen una cobertura global: Claquin et al. (1999) que posteriorment va ser complementada per Nickovic et al. (2012), Journet et al. (2014) i la més recent de Ito et al. (2017). D'ara en endavant ens referirem a les tres bases de dades com a Claquin, Journet i Ito. En els següents apartats ens centrem en aquestes tres, i s'analitzen les principals diferències entre elles per poder comprovar les incerteses associades que hi ha quan es construeix una base de dades sobre la mineralogia global.

4.1. Minerals i zones d'estudi

La pols mineral, tal com s'ha definit a la introducció, és un conjunt complex de diversos minerals amb propietats fisicoquímiques que poden variar molt d'un mineral a un altre, i en conseqüència els seus efectes sobre el clima, els ecosistemes o sobre la salut també varien significativament entre els diferents minerals. Com a conseqüència i amb la impossibilitat d'estudiar tots els diferents minerals alhora, s'han d'escollit uns certs minerals o famílies de minerals per tal de poder estudiar el cicle de la pols mineral. A més, és important la diferenciació entre la fracció més fina (la fracció argilosa $d < 2 \mu\text{m}$) i la fracció més gruixuda (la fracció de llims $d 2 - 63 \mu\text{m}$), ja que tenen propietats diferents i

ahora de poder-ho integrar en els models s'ha de poder observar aquestes diferències de mida per tal de tenir-ho en consideració en l'emissió.

Els diferents estudis tant de Claquin i Journet com els de Ito justifiquen la seva elecció dels minerals en termes d'abundància, les propietats òptiques, les propietats químiques i del nombre de mesures que es tinguin del mineral i en conseqüència ho justifiquen segons els possibles impactes que poden tenir en els diversos efectes de la pols mineral.

Els principals minerals d'estudi són:

- Silicats i alumino-silicats: dintre d'aquest grup tindríem :
 - Minerals argilosos : illita, kaolinita, smectita, vermiculita i clorita. Aquests minerals són interessants, ja que representen els minerals més abundants a causa de la meteorització de les roques sedimentàries. Són traçadors interessants pel clima, ja que el seu contingut depèn de la humitat i la temperatura en el moment de formació. A més, els minerals argilosos tenen una gran superfície, la qual cosa implica una elevada reactivitat química i la possibilitat d'unir-se a ions i a oligoelements (Journet et al.,2014; Claquin et al., 1999). Per altra banda, la vermiculita i la smectita, tot i ser menys abundants, tenen una reactivitat superior a la illita i a la kaolinita (Ito et al.,2017). La clorita tot i formar part del minerals argilosos és molt menys abundant.
 - Quars i Feldespats : minerals molt abundants sobretot en la fracció de llims. A causa del contingut d'alumini els feldespats i els minerals argilosos absorbeixen menys radiació infraroja que el quars, amb la seva possible afectació al pressupost radiatiu. A més, tant els feldespats com el minerals argilosos són especialment efectius com a IN.
- Carbonats (calcita) i sulfats (gypsum) : tenen un paper important en els efectes directes i indirectes sobre la radiació solar, on absorbeixen sobretot radiacions de longitud d'ona llarga. Per altra banda, són solubles en aigua i són un dels minerals més reactius de la pols mineral en un entorn àcid i poden actuar com a CNN, contribuint als efectes de la radiació indirecta, a més de contribuir a l'acidesa de

la pluja. Per tant, tant els carbonats com els sulfats poden tenir un impacte en les vies oxidatives atmosfèriques i en el pH de la pluja (Claquin et al., 1999).

- Òxids de ferro (hematita i goethita): corresponen a la part lliure de ferro present en la pols minerals (els minerals argilosos també tenen en la seva composició ferro). Els òxids de ferro són un subministrament essencial de nutrients per al desenvolupament de fito-plàncton i de la vegetació en certes parts terrestres com el Amazones, sobretot en zones on el ferro és limitat o inexistent. Per altra banda, els òxids de ferro incrementen l'absorció de radiació de longitud d'ona curta.

Tots aquests minerals es poden trobar a la fracció d'argila, la fracció de llims o ambdós segons la seva distribució de mida. En la taula 4 es poden observar els diferents minerals escollits per les tres bases de dades segons si pertanyen a la fracció d'argila o la fracció de llims. Podem observar com els diferents estudis de la mineralogia global tenen certes diferències en l'elecció dels minerals d'estudi, tant en la fracció d'argila com en la fracció de llims. Aquestes diferències es basen segons els objectius de cada autor i les dades disponibles que tenien en cada moment. La principal diferència que es pot observar és en l'estudi d'Ito només se centra en la fracció d'argila, centrant-se més en l'aplicabilitat per a estudis relacionats amb la biogeoquímica global, d'aquesta manera Ito afegeix la gibbsita pel alt contingut en alumini i els minerals no cristal·lins, els quals són un conglomerat de minerals amorfs que contenen continguts de ferro i alumini. En contrapartida, Ito al només centrar-se en la fracció d'argila i la seva aplicabilitat en la biogeoquímica global, només el podem utilitzar com a comparació amb els altres dos estudis però no el podem utilitzar en models atmosfèrics per estudiar les emissions de pols.

Si ens centrem en la comparació de Claquin amb Journet en termes de minerals, podem observar com Journet augmenta el nombre de minerals estudiats en quatre, en concret afegeix la clorita, la vermiculita i els òxids de ferro (goethita i hematita) en la fracció d'argila, i la clorita i la mica en la fracció de llims. Claquin no considera la clorita pel seu baix contingut en el sòls i la vermiculita pel seu baix contingut en zones àrides i semi àrides (Claquin et al, 1999). Per altra banda, Claquin únicament considera important tenir en compte els òxids de ferro en la fracció de llims i estudia els òxids de ferro com un

conjunt de hematita i goethita a causa de la seva baixa abundància. En canvi, Journet fa la distinció entre els dos minerals i considera que no hi ha hematita en la fracció d'argila.

Taula 4. Distribució mineralògica de les diferents bases de dades per la fracció d'argila i la fracció de llims.

Argila (< 2 µm)			LLims (2– 63 µm)	
Claquin 1999	Journet 2014	Ito 2017	Claquin 1999	Journet 1999
Quartz	Quartz	Quartz	Quartz	Quartz
Kaolinite	Kaolinite	Kaolinite		
Illite	Illite	Illite/Mica		
Smectite	Smectite	Smectite		
	Vermiculite	Vermiculite		
	Chlorite	Chlorite		Chlorite
			Feldspar	Feldspar
				Mica
Calcite	Calcite		Calcite	Calcite
	Hematite	Iron oxides (Goethite and hematite)	Iron oxides (Goethite and hematite)	
	Goethite			Goethite
			Gypsum	Gypsum
		Gibbsite		
		Non-crystalline		

Una altra gran diferència entre els diferents estudis de la mineralogia global és en les zones d'estudi. Claquin únicament se centra en les zones actuals d'emissió de pols, és a dir, en les zones àrides i semi àrides del planeta. En canvi, Journet i Ito donen una cobertura global de la mineralogia del sòl amb el supòsit que pot arribar a ser útil segons van canviant les fonts de pols a causa del canvi climàtic.

4.2. Comparació de la metodologia utilitzada en les diferents bases de dades de la mineralogia global

Les diferents bases de dades de la mineralogia global estudiades utilitzen una metodologia molt semblant per tal de poder estudiar la composició mineralògica global. En tot, totes utilitzen un seguit d'hipòtesis i aproximacions que fan que hi hagin diferències notables entre elles. Els trets comuns de la metodologia utilitzada en les diferents bases de dades es poden resumir en quatre principals passos:

- i) El primer pas és l'elecció de mapes sobre les unitats del sòl, és a dir, mapes on es defineix diferents àrees de manera global que tenen unes característiques determinades i diferencials d'altres tipus de sòls. Aquesta informació es basa en les característiques i la distribució dels sòls que cobreixen la superfície terrestre, i es defineix el tipus de sòl segons diferents propietats observables o mesurables, i aporten informació sobre els trets principals de cada sòl però no donen informació sobre la mineralogia de cada tipus de sòl. Els diferents mapes de les unitats del sòl poden tenir diferències entre ells, a causa de les dades utilitzades en la seva creació, en la seva resolució espacial i en el nombre de sòls definits.

- ii) Un cop escollit el mapa de les unitats del sòl, associen una mineralogia per cada tipus de sòl. Per tal de dur a terme aquesta associació, les tres bases de dades estudiades es basen en la literatura existent de la mineralogia del sòl del moment i fan un seguit d'hipòtesis per tal de poder-ho fer. La principal hipòtesis i que els tres estudis tenen en comú és que per poder inferir una composició mineralògica mitjana per a cada unitat del sòl, la mineralogia de la superfície depèn de la distribució de mida, la química i el color del sòl. Un altre aspecte important és en els criteris per tal de seleccionar les diferents mesures i informacions dels diferents treballs analitzats, on bàsicament es té en compte que els anàlisis duts a termes dels diferents treballs estiguin realitzats sobre la fracció d'argila o de llims, es basin en la superfície terrestre i que la informació de les mostres del sòl pugui relacionar-se amb les diferents unitats del sòl.

- iii) El tercer pas i segurament el pas més crític, és la creació del que s'anomenen taules mineralògiques mitjanes (MMT). En aquestes taules, mitjançant l'associació anterior, es relacionen les unitats del sòl amb la mineralogia mitjana per cada unitat del sòl, és a dir, proporcionen informació sobre el percentatge mitjà en massa dels diferents minerals en cada tipus de sòl. Tot i que en els tres estudis la revisió literària és relativament extensa no hi ha informació suficient per poder completar la informació necessària per certs

minerals i per certs tipus de sòls. A més, la majoria d'estudis tenen una carència d'informació per determinats minerals, tals com la calcita o els òxids de ferro, que dificulta la creació de les MMT i la distinció de la distribució de mida dels minerals per poder diferenciar entre la fracció fina o gruixuda. Molts d'aquests problemes de diferenciació de mida és a conseqüència de la tècnica del wet sieving utilitzada per la majoria d'estudis per tal de poder saber la composició dels sòls. Per completar les taules s'utilitzen diferents aproximacions empíriques per certs minerals, tals com, relacions lineals entre diferents minerals o relacions entre el color del sòl i el contingut de hematita o goethita en el sòl. Les principals aproximacions es duen a terme en la fracció de llims, la qual hi ha menys informació literària, i en conseqüència hi haurà una incertesa associada més gran.

- iv) Amb la combinació dels mapes de les unitats del sòl i les taules mineralògiques mitjanes es pot obtenir els mapes de composició mineralògica global. Aquests mapes globals mostren la informació de les unitats del sòl per les quals hi ha dades mineralògiques primàries o derivades de les diferents aproximacions. En aquest punt, és important destacar la importància de la resolució dels mapes de les unitats del sòl, que marquen en part la resolució dels mapes de la composició mineralògica global.

Taula 5. Resum de les característiques principals de cada base de dades de la mineralogia estudiades.

	Claquin et al.(1999)	Journet et al. (2014)	Ito et al. (2017)
Enfocament	Zones àrides i semi àrides	Zones àrides i zones humides	Zones àrides i zones humides
Resolució espacial	0.083°	0.0083°	0.033°
Mapes de les unitats del sòl	Mapa dels sòls del món de la FAOFAO (FSMW)(28 unitats del sòl)	Harmonized World Soil Database (HWSD) basat en la FAO 74+ FAO90 (211 unitats del sòl)	Mapa global taxonòmic del sòls (15 unitats del sòl)
Base de dades	Basat en 239 descripcions del sòl	Basat en 700 descripcions del sòl	Basat en 168 descripcions del sòl

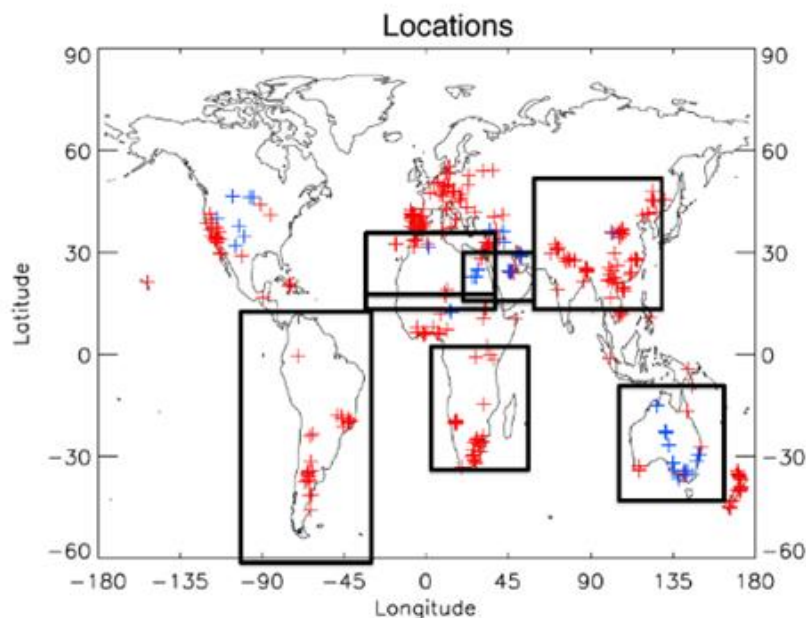
i) Mapes de les unitats del sòl

Els tres estudis es realitzen amb diferents mapes de les unitats del sòl, on Claquin utilitza el mapa mundial dels sòls de l'Organització de les Nacions Unides per l'Agricultura i l'Alimentació (FAO), la qual únicament considerava 25 unitats del sòl en la versió del 1974 (FAO – UNESCO, 1974) i posteriorment amb la complementació de Nickovic et al. (2012) es van afegir 3 unitats més del sòl que provenien de la nova versió del 1990 (FAO90). Journet, per la seva banda utilitza la base de dades harmonitzada dels sòls del món (HWSD; FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2009), la qual incorpora les dades provinents del FAO74 i el FAO90 amb la seva expansió provinent de la subdivisió de les unitats del sòl inicial i en certs canvis en les unitats del sòl inicial, arribant a tenir un total de 221 unitats del sol diferents. A més, el HWSD incorpora nova informació sobre les propietats del sòl i de certs minerals, com per exemple, la informació de la textura del sòl i el contingut de gypsum i de carbonat de calci (calcita). Per altra banda, Ito utilitza un mapa global de taxonomia del sòl realitzat pel servei de conservació de recursos naturals del departament d'agricultura dels Estats Units on re-classifiquen els mapes del sòl de la FAO, obtenint 15 unitats del sòl (Font de les dades de Ito: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052837.zip).

ii) Base de dades de la composició dels sòls

Si ens fixem en el nombre de dades utilitzades per poder construir les MMT podem observar com hi ha una gran variància entre els diferents estudis, essent l'estudi de Journet el que més descripcions del sòl té, amb 700 descripcions del sòl. En contrapartida, Claquin només utilitza 239 mesures del sòl a causa del nombre inferior d'estudis que hi havia en els anys 2000. En canvi, Ito utilitza tant poques mesures (168 descripcions del sòl) perquè no té en compte cap estudi que es basi en la sedimentació humida, limitant així el nombre de mesures disponibles.

En tot, en la majoria de dades utilitzades en tots els estudis es basen en descripcions del sòl dels Estats Units, la península aràbiga, Austràlia, Nord d'Àfrica, Xina i el nord de la Índia, en Journet i Ito, també agafen dades de mostres del sud d'Àfrica, Europa i la part sud de Sud-Amèrica. En la il·lustració 8 es pot observar la distribució espacial de les dades tingudes en compte per Claquin i per Journet, on es pot observar la major cobertura global de Journet, les zones del planeta amb menys informació disponible i en conseqüència amb una major incertesa en la construcció dels mapes globals de mineralogia del sòl.



Il·lustració 8. Localització de la base de dades utilitzades per Claquin et al. (1999) en blau i Journet et al. (2014) en vermell. Font: Journet et al., 2014.

iii) Taules mineralògiques mitjanes

A causa de la manca de mesures globals suficients per generar les MMT els diferents estudis de la mineralogia del sòl utilitzen certes aproximacions empíriques. Algunes d'elles són comunes amb Claquin i Journet, per altra banda, per Ito no té informació de l'ús d'aquestes aproximacions empíriques ni de les MMT. A continuació es resumeixen les principals aproximacions dels minerals que tenen una manca més gran d'informació:

- Calcita: Claquin i Journet : utilitzen la relació lineal que hi ha entre la quantitat total de Calcita i la quantitat de la fracció d'argila o de la fracció de llims per tal d'aproximar el contingut de calcita en les dues fraccions. Journet extreu la informació de la quantitat total de calcita del HWSD i Claquin de la revisió literària.
- Òxids de ferro : Claquin i Journet: la determinació del contingut d'òxids de ferro, es fa mitjançant una relació entre el contingut d'òxids de ferro i el color del sòl, però Journet distingeix entre la hematita i la goethita, assignant la hematita únicament a la fracció d'argila i assumeix una relació 1:3 entre la goethita en la fracció de llims i la goethita en la fracció d'argila. Altrament, Journet per les unitats del sòl on no té informació del color del sòl i assumeix que la concentració de hematita i goethita és la mateixa que la unitat del sòl no subdividida.
- Quars i feldespats : Claquin: relaciona el contingut de quars i feldespats en la fracció de llim segons la proporció de llim/sorra en el sòl.

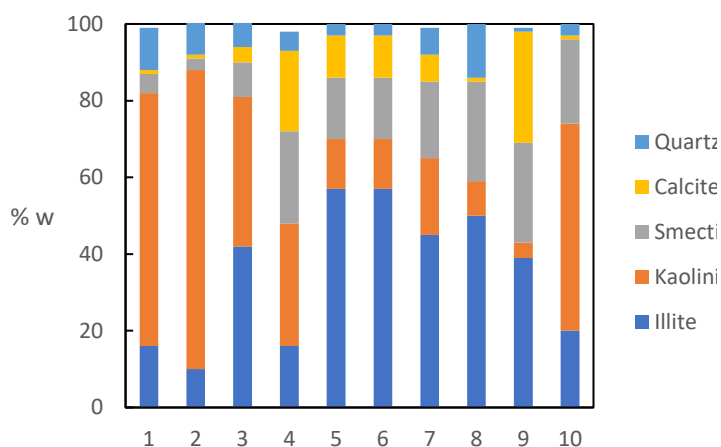
Journet: assigna el mateix contingut de quars i de feldespats a totes les unitats del sòl segons el contingut d'aquests minerals en les unitats del sòl no subdividides.

- Mica i clorita : Journet : quan no hi ha informació quantitativa sobre el contingut d'aquests minerals assigna un valor mitjà basat en la mitjana de totes les dades de la fracció de llims sobre aquesta minerals.
- Gypsum: Journet: la quantitat total es divideix de manera igual entre la fracció d'argila i la fracció de llims.

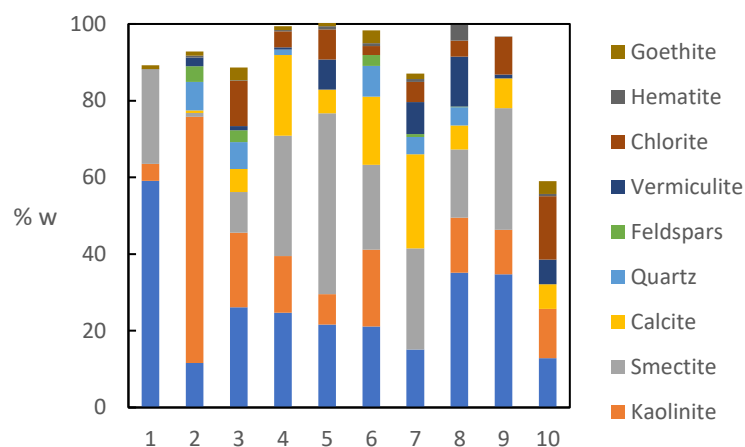
Una altra aproximació rellevant és que tant Claquin com Ito decideixen normalitzar la distribució dels minerals estudiats al 100% de la massa, és a dir, aproximen que únicament hi ha els minerals estudiats en les diferents unitats del sòl. En canvi, Journet decideix no normalitzar i mantenir els valors originals obtinguts de la distribució de minerals, obtenint diferències notables en certes unitats del sòl. A més a més, un clar exemple de la magnitud de les aproximacions dutes a terme per Journet és que únicament té informació quantitativa inicialment per la fracció de llims de 25 unitats del sòl de 211 unitats del sòl total considerades per Journet, mancant informació sobretot del contingut de calcita, gypsum i goethita. Tanmateix, Journet considera tres opcions diferents de MMT per la fracció d'argila segons les aproximacions que es fan, la primera (cas 0) com a cas de referència on únicament s'utilitza les unitats del sòl on hi ha una informació completa, fent una MMT amb una baixa cobertura global. El cas 1 assigna la composició mineralògica per als sòls els quals no es té informació en funció de les característiques de les unitats del sòl més properes. Finalment, en el cas 2, és el que s'utilitza en aquest treball, s'assigna part de la informació mancant segons la mitjana del grup principal de sòl a la qual pertanyen les unitats del sòl. Per altra banda, Claquin té informació completa de la mineralogia pel 80 % de les unitats del sòl considerades, havent únicament d'aproximar informació pel 20 % restant de les unitats del sòl.

A continuació, es pot observar en els següents gràfics la comparació de les MMT de la fracció d'argila tant de Claquin com de Journet per certes unitats del sòl que els dos estudis tenen en comú (gràfic 1). En termes generals, es pot observar com els minerals argilosos tenen un percentatge en massa superior al 60%, però els valors de Claquin tenen gairebé sempre un valor superior a les de Journet, tot i considerar dos minerals argilosos més, aquest fet segurament és a causa de la normalització duta a terme per Claquin. Per altra banda, minerals com la Calcita es mouen en un rang entre el 0 % i el 30%, i es pot observar com tenen diferències significatives entre Journet i Claquin a causa de l'ús de la relació empírica entre el contingut total de calcita i el contingut d'argila en el sòl, el qual és diferent entre Journet i Claquin. Si ens fixem en el Quars observem que en termes general tenim una major quantitat de quars en la fracció d'argila en Claquin que en Journet.

Claquin et al. (1999)



Journet et al. (2014)



Gràfic 1. Gràfic de les taules de mineralogia mitjanes per 10 unitats del sòl en la fracció d'argila per Claquin i Journet.

Taula 6. Unitat del sòl considerades en l'estudi comparatiu entre les MMT de Journet i Claquin.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unitats del sòl	Cambic Arenosols	Luvic Arenosols	Calcaric Regosols	Glevic Solonchaks	Calcic Xerosols	Calcic Yermosols	Luvic Xerosols	Sand Dunes	Salt Flats	Haplic Yermosols

Analitzant les MMT es pot observar com hi ha diferències significatives entre les diferents bases de dades majoritàriament a causa de les diverses aproximacions que realitzen i al fet de normalitzar o no les MMT.

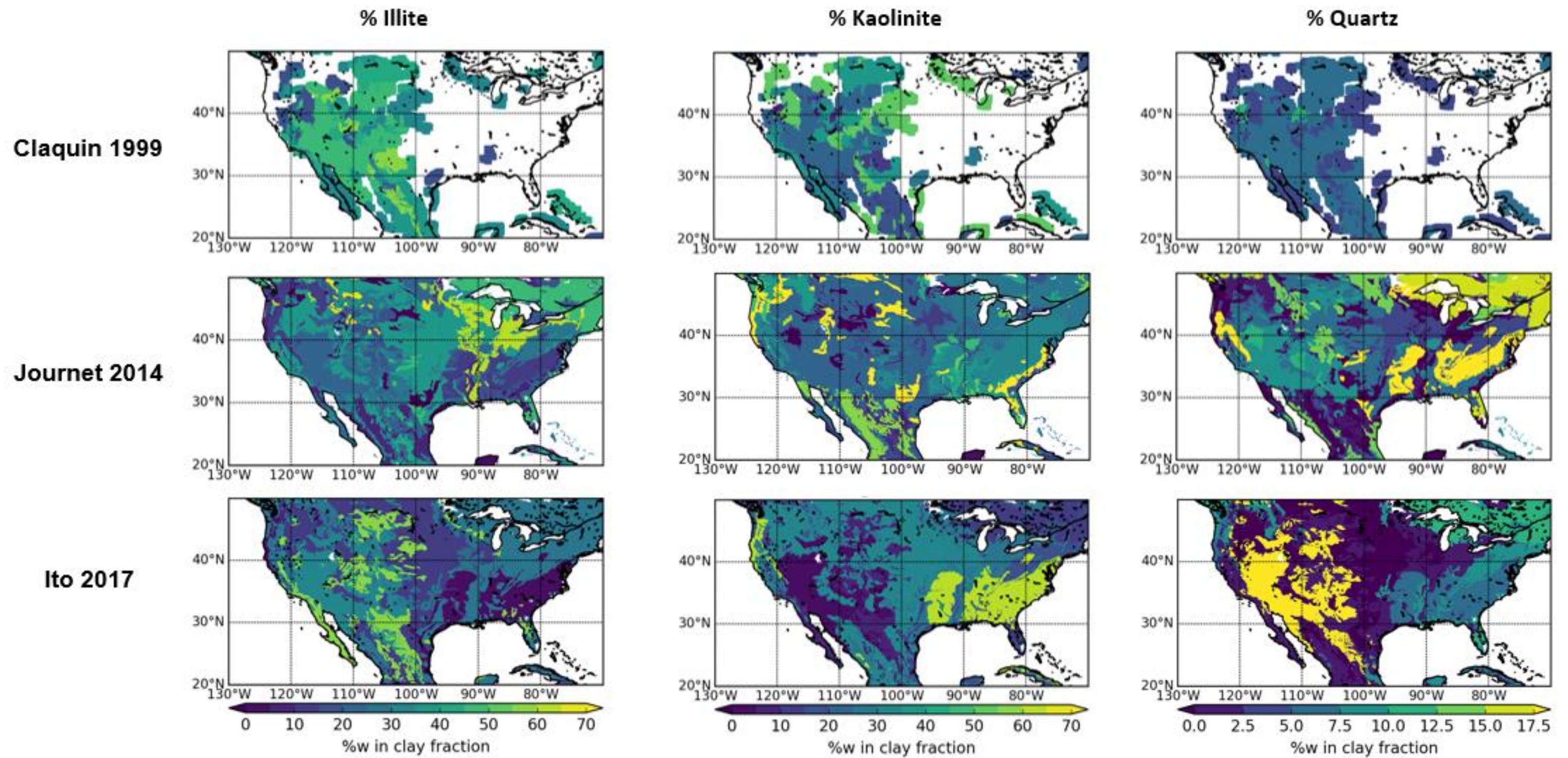
i) Mapes de la composició mineralògica

A continuació s'analitzen els mapes de la composició mineralògica sobre la regió de Nord Amèrica per observar les diferències de les diferents bases de dades d'una manera més visual. Es realitza una primera comparació sobre Nord Amèrica en relació al projecte de EMIT de la NASA i, en l'interès de poder saber les incerteses amb més exactitud sobre aquesta regió. En concret, en aquest apartat s'estudien els resultats obtinguts de tres minerals en la fracció d'argila que les tres bases de dades tenen en comú: kaolinita, illita i quars. En els gràfics 2 es poden observar els mapes obtinguts dels tres minerals sobre la regió de Nord Amèrica per la fracció d'argila. Per realitzar una comparació més justa es decideix normalitzar la dispersió dels minerals tenint en compte tots els minerals que

tenen en comú, d'aquesta manera es pot veure d'una manera més clara i directa les diferències.

Si ens fixem en els gràfics 2 es pot observar de manera general com hi ha diferències significatives i importants entre les diferents bases de dades estudiades. Si ens fixem en la regió més àrida de Nord Amèrica (desert de Chihuahua, desert de Sonora, desert del Mojave) podem observar com els rangs de % en massa que donen les tres bases de dades són molt disperses. En concret, si ens fixem en el quars, es pot percebre com hi ha diferències superiors al 15 % entre la base de dades de Ito i les de Claquin i Journet, essent la de Journet la base de dades amb un percentatge en massa més baix. En concret, Journet en els deserts de Chihuahua i Sonora el contingut de quars en el sòl és nul en la fracció d'argila.

Per altra banda, si ens fixem en els minerals argilosos com la kaolinita i la illita, es pot observar com en les tres bases de dades el contingut en massa d'aquests minerals és elevat de manera general i s'observa una relació inversa entre aquests minerals, on regions amb un alt contingut amb illita tenen un menor contingut en kaolinita. Tanmateix, s'observa com el contingut de minerals argilosos gairebé sempre és superior en Claquin, tot i haver normalitzat per tots els minerals que tenen en comú les tres bases de dades.



Gràfic 2. Exemples de tres minerals en la fracció d'argila per les diferents bases de dades sobre la composició mineralògica de la regió de Nord Amèrica.

En aquests apartats s'ha pogut concloure com pot arribar ser de important conèixer millor la mineralogia global per tal de disminuir les múltiples incerteses que hi ha actualment en relació a les bases de dades. S'observa com les diferències entre els tres estudis estudiats són significatives i importants si es vol estudiar els efectes de la mineralogia de pols mineral a escala global. Actualment, la quantitat de dades de la mineralogia dels sòls són molt escasses i amb un nivell d'incertesa elevat, sobretot per les tècniques utilitzades en el mostreig, i, a causa d'aquesta manca de dades és necessari l'ús d'aproximacions empíriques que marquen una gran diferència entre les diferents bases de dades. La mineralogia de Ito marcada sobretot per les poques dades de mineralogia dels sòls i per les poques unitats del sòl utilitzades té una gran incertesa associada, en tot, segurament al utilitzar únicament dades de la mineralogia amb tècniques menys destructives i més fiables dona uns resultats més precisos en la distribució de mides dels minerals però les aproximacions per tal de dur aquests resultats a una escala global són majors. En canvi, la mineralogia de Claquin que també utilitza poques dades de mineralogia dels sòls dona una cobertura únicament per les zones àrides i semi àrides del planeta, limitant així les aproximacions i la incertesa associada, però al no tenir una cobertura global limita el seu ús al no considerar noves possibles zones d'emissió. Finalment, la mineralogia de Journet basada en un gran nombre de mesures i d'unitats del sòl dona una cobertura global però les aproximacions empíriques que ha de dur a terme són majors.

Ahora d'estudiar el cicle global de la mineralogia de la pols és important tenir en compte totes les incerteses que plantegen les diferents bases de dades per tal de poder entendre i aproximar millor els resultats que s'obtenen. Cada base de dades té els seus avantatges i desavantatges, i en aquest apartat s'ha pogut observar com la utilització de una base de dades o una altra per a models atmosfèrics o climàtics de la pols global pot marcar diferències importants en els resultats que s'obtinguin.

5. Mètodes d'agregació per passar de mapes de la mineralogia del sòl d'alta resolució a més baixa resolució

En aquest apartat s'estudia i s'analitza l'ús dels diferents mètodes d'agregació de la mineralogia global per passar d'una alta resolució a una baixa resolució per la implementació en models atmosfèrics. Actualment, el model atmosfèric implementat al BSC per l'estudi global de la pols mineral (MONARCH) utilitza l'enfocament o mètode d'agregació segons el tipus de sòl dominant (TSD) i en aquesta secció s'intenta observar primer com és aquesta integració per passar d'alta resolució a baixa resolució i després s'analitza com de gran és la diferència en la mineralogia del sòl si s'utilitzen altres mètodes d'agregació.

S'ha analitzat les bases de dades de Journet i de Claquin, i s'ha comprovat que el comportament en els diferents mètodes d'agregació és molt similar. En aquesta secció, únicament s'analitza com a exemple la base de dades de Journet, on hi ha una major diferència entre diferents mètodes d'agregació a causa de tenir definides més unitats del sòl.

5.1. Mètode d'agregació del tipus de sòl dominant

Primerament, es va analitzar com actualment es fa l'agregació dels mapes de la mineralogia global per poder-se integrar en els models atmosfèrics i poder entendre així com són les aproximacions actuals al passar d'uns mapes de mineralogia del sòl global d'alta resolució a una menor resolució.

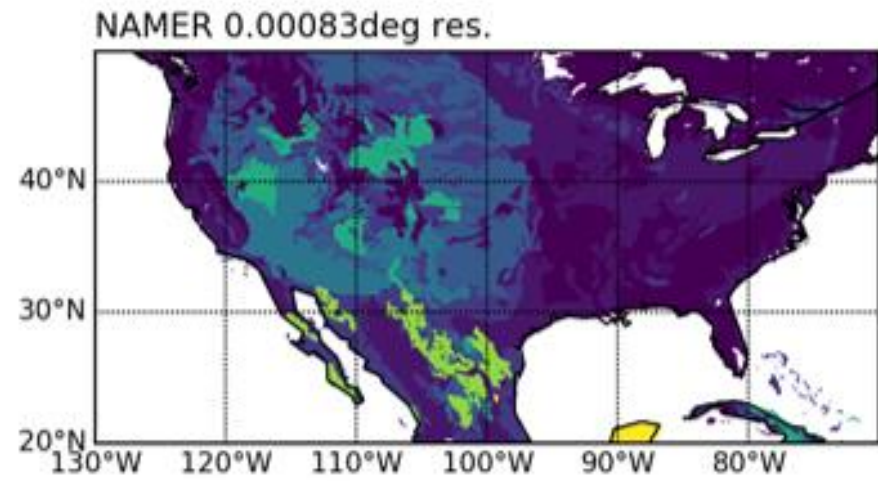
En aquest apartat s'analitza sobre la regió de Nord Amèrica i no a escala global per tal de poder observar millor les diferències i en referència al projecte EMIT. En els gràfics 3 s'observen els mapes obtinguts de tres minerals en la fracció d'argila utilitzats com a exemple, tant a alta resolució (0.0083°) com a baixa resolució utilitzant el mètode d'agregació del TSD (1.0°). De manera general observem que els valors representats en alta resolució no varien molt en representar-los a baixa resolució, sobretot en els punts on el nombre de tipus de sòl és baix i els valors dels percentatges en massa dels minerals

són molt homogenis, aquest efecte es pot observar clarament en el mapa de la calcita, on per exemple a la costa est de Nord Amèrica les variacions dels valors del contingut de calcita són poques a alta resolució i, per tant la representació a baixa resolució és més acurada. Per altra banda, però s'observa com la pèrdua de resolució implica la pèrdua d'informació, sobretot en els punts on hi ha més tipus de sòls i amb uns valors mineralògics menys homogenis. Un clar exemple, el podríem observar en la goethita, on en el mapa d'alta resolució hi ha bastantes zones que passen bruscament d'un contingut molt baix en goethita a un contingut molt més elevat, en aquests punts la pèrdua d'informació és notable. Aquest fet és a conseqüència que en les cel·les on hi ha més d'un tipus de sòl el mètode actual escull únicament el que és dominant en aquella cel·la, perdent la informació mineralògica dels altres tipus de sòls i aproximant que el valor del TSD és representatiu de tota la cel·la.

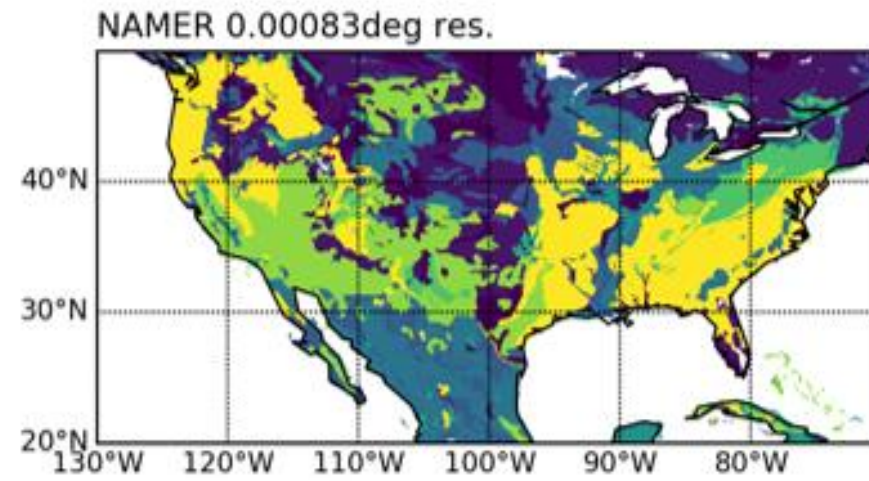
Per tant, es pot observar com el pas de una mineralogia del sòl d'alta resolució a baixa resolució implica la pèrdua de definició i un elevat grau d'aproximació dels valors mineralògics en les zones menys homogènies.

Alta resolució
0.0083°

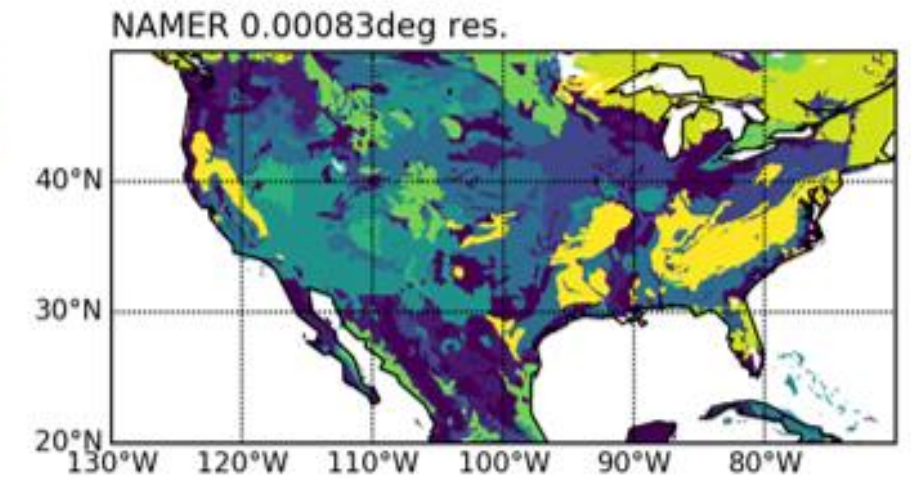
% Calcite



% Goethite

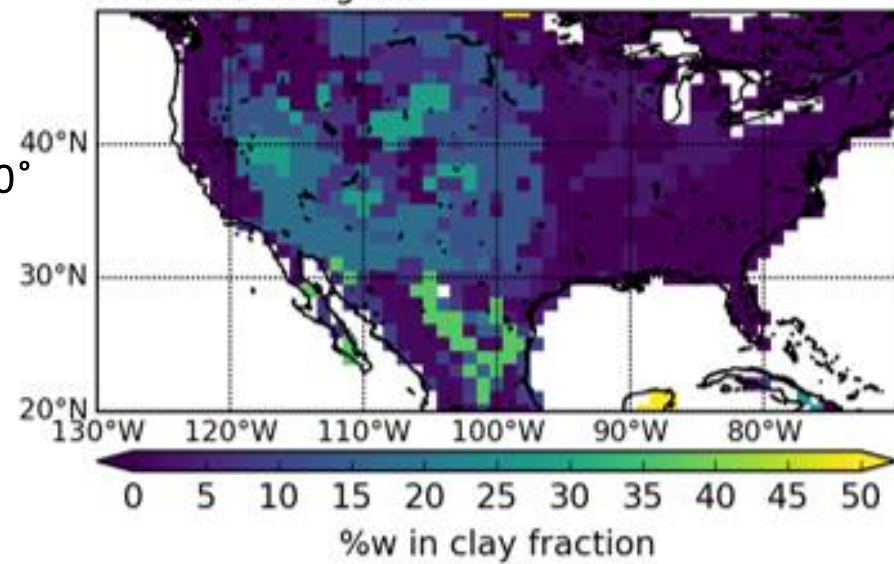


% Quartz

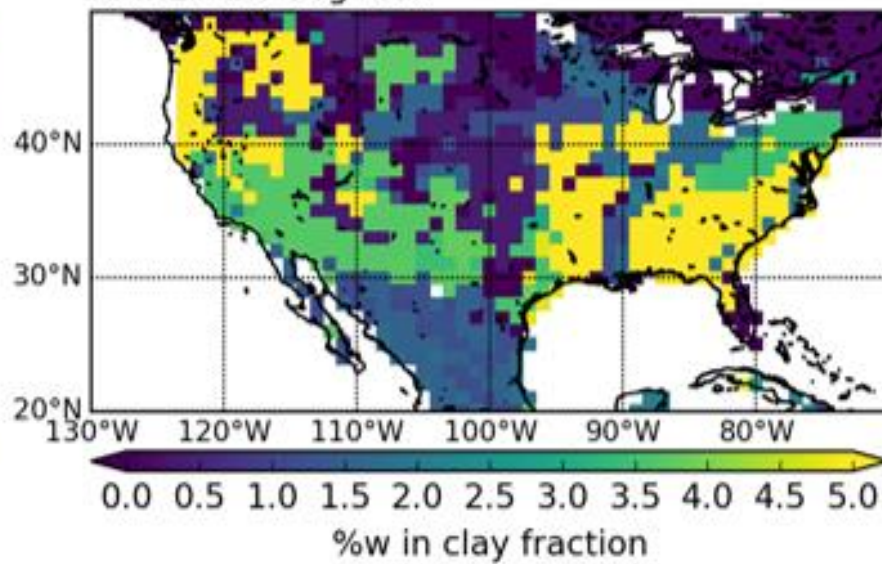


Baixa resolució 1.0°
(Tipus de sòl dominant)

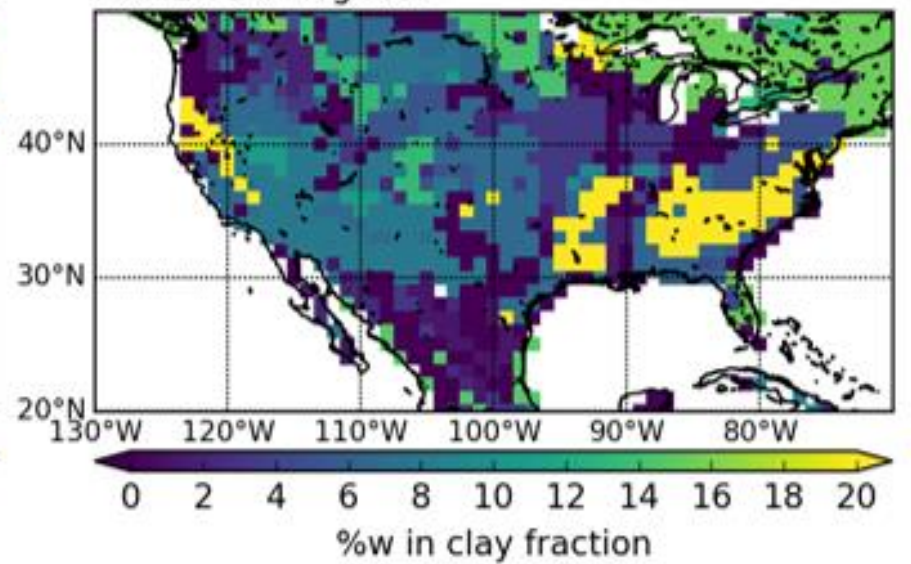
NAMER 1.0 deg res.



NAMER 1.0 deg res.



NAMER 1.0 deg res.



Gràfic 3. Comparació de mapes de la mineralogia del sòl de tres minerals sobre la regió de Nord Amèrica en alta resolució i a baixa resolució aplicant el mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb la mineralogia del sòl de Journet.

5.2. Comparació dels diferents mètodes d'agregació

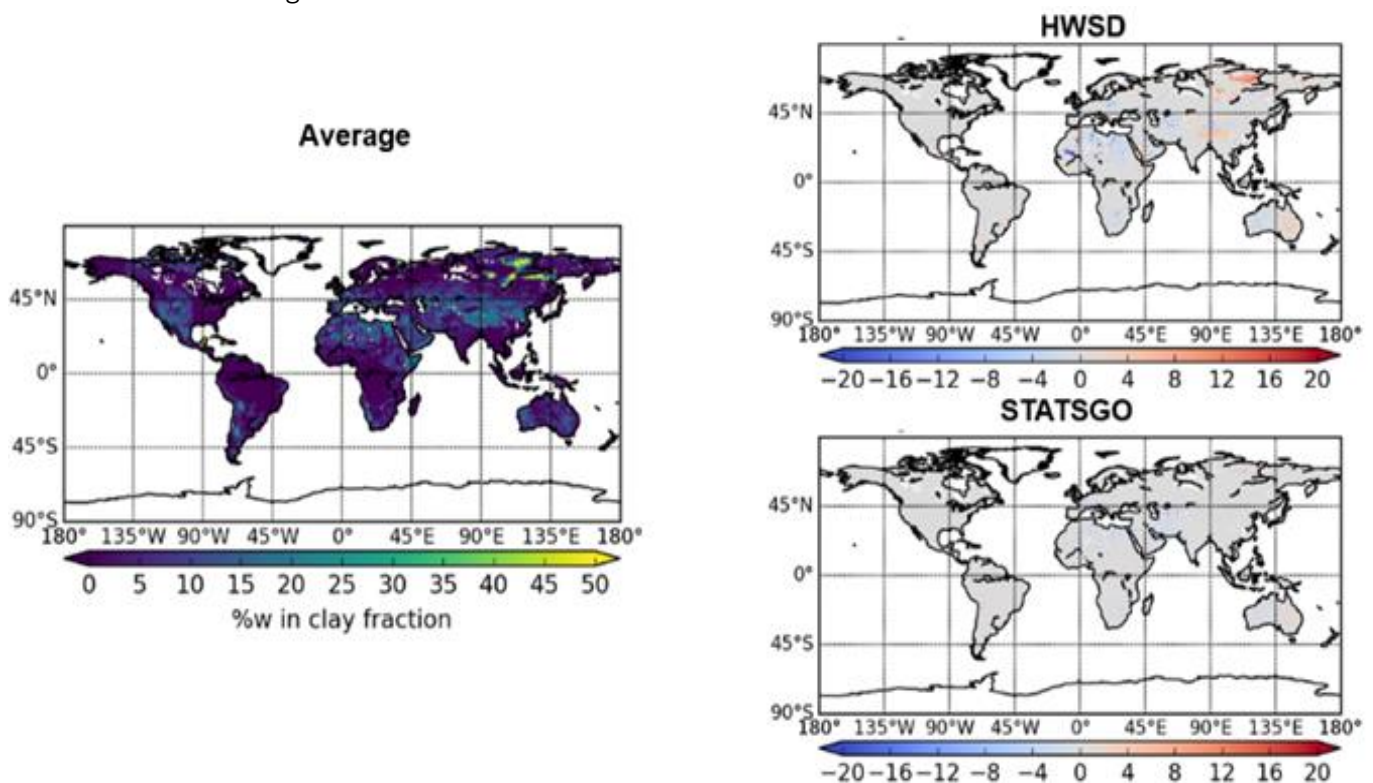
Un cop s'ha observat com l'ús dels mètodes d'agregació comporta una pèrdua de definició i l'aproximació de certs valors per certes regions, es necessari analitzar quina diferència hi podria haver si s'utilitzen altres mètodes d'agregació, tals com la mitjana aritmètica (MA) o la mitjana ponderada per la textura del sòl (MP). En aquesta secció, s'analitzarà a nivell global els tres diferents mètodes d'agregació, i en el mètode d'agregació de la mitjana ponderada per la textura del sòl es fa l'anàlisi incloent les dues bases de dades de textura del sòl disponibles: HWSD i STATSGO-FAO. Continuant amb els minerals de la secció anterior, s'analitzen a mode d'exemple la calcita, la goethita i el quars per a la fracció d'argila. En l'annex 1 es pot observar els estudis realitzats per tots els minerals i per la fracció d'argila i la fracció de llims.

Per tal de dur a terme la comparació es fa servir a mode de referència el mètode d'agregació que el model MONARCH utilitza actualment (TSD). Els gràfics 5 mostren les diferències absolutes que hi ha entre els diferents mètodes d'agregació i el mètode d'agregació del TSD, on els punts en color vermell indiquen que l'estimació del sòl dominant és superior als altres mètodes d'agregació i al revés pels punts en color blau.

Si ens fixem en les diferències entre el TSD i el de la MA s'observa que poden haver diferències absolutes en el contingut en massa superiors a 20 % per la calcita, al 10 % per la goethita i al 20 % pel quars. També s'observa com les diferències majors es corresponen a les zones on hi ha major quantitat dels diferents minerals, com és el cas de la Sibèria en el quars o a la part central d'Àfrica en la goethita. Per altra banda, aquestes diferències en zones concentrades acostumen a tenir un valor superior en el mètode del TSD i s'observa clarament com en els límits de les zones amb elevada concentració les diferències augmenten considerablement. Aquest fet es veu agreujat si a la zona contigua d'elevada concentració hi ha una zona de baixes concentracions, un clar exemple és a la part Nord - Est de la Sibèria per la calcita, on s'observa una gran diferència entre zones on hi ha un contingut en massa de calcita al voltant del 50 % i en les zones contigües la calcita no està present. Un altre focus de diferències és a les zones on amb el mètode del TSD els valors de mineralogia és nul a causa del tipus de sòl dominant, però pot haver-hi més d'un tipus de sòl en aquella zona i el mètode de la MA

pot tenir un valor en aquelles zones. En definitiva, es pot observar més diferències en els punts on tenim zones on hi ha més valors diferents a prop, aquest fet és a causa que el mètode d'agregació del TSD en aquelles zones únicament té en compte un valor, en canvi el mètode de la MA té en compte tots els valors d'aquella zona.

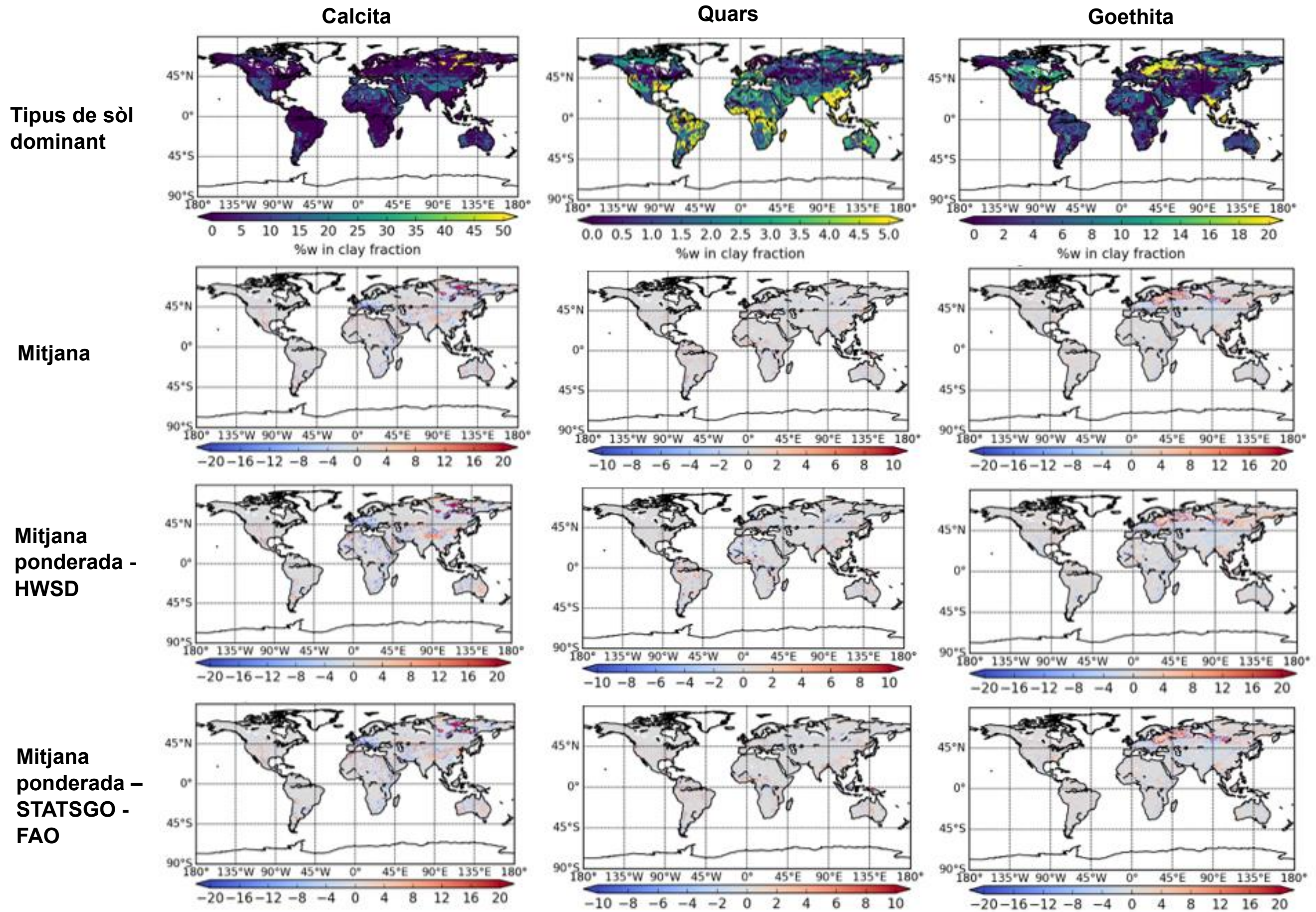
Pel que fa el mètode d'agregació de la MP, observem que les diferències amb el TSD són molt similars que el de la MA, on zones pròximes amb valors mineralògics dispersos provoca una major diferència. Per altra banda, si comparem el mètode d'agregació de la MP amb el mètode de la MA observem com les diferències augmenten quan s'utilitza la base de dades de la textura del sòl del HWSD, (en el gràfic 4 s'exemplifica per la calcita utilitzant el mètode de la MA com a referència). Aquest fet és degut a que la base de dades del STATSGO - FAO és molt més homogènia que la del HWSD al utilitzar menys unitats del sòl i en conseqüència fa varia menys els valors al fer la mitjana ponderada. No obstant, les variacions entre el MA i el MP, tant si s'utilitza el HWSD com el STATSGO, no són molt significatives.



Gràfic 4. Comparació de la diferència absoluta de la Calcita utilitzant el mètode la mitjana (mapa de l'esquerra) amb la utilització del mètode de la mitjana ponderada amb el HWSD o el STATSGO-FAO (Mineralogia del sòl de Journet).

Per altra banda, si ens fixem en les zones de major emissió de pols del planeta (Il·lustració 2) podem observar com cada mineral es comporta d'una manera determinada segons la homogeneïtat de valors en aquestes regions, però s'observa com les diferències més importants entre mètodes d'agregació no es corresponen en aquestes regions. Un exemple podria ser en la regió del desert del Gobi, on el quars i la goethita gairebé no presenten diferències segons els diferents mètodes d'agregació a causa de la homogeneïtat de valors mineralògics en aquella zona, en canvi, la calcita presenta diferències fins un 10 % en valor absolut en aquesta regió. Per tant, és essencial per poder interpretar bé els diferents mètodes d'agregació fer un estudi de cada mineral i entendre correctament les variacions segons la zona, en conseqüència, no es pot generalitzar el comportament dels diferents mètodes d'agregació per regions, ja que la homogeneïtat dels valors en cada regió pot arribar a ser molt diferent depenen del mineral i de la fracció mineralògica, on el mateix mineral en la fracció de llims o d'argila té un comportament global diferent. Tanmateix, els resultats obtinguts per la fracció més gruixuda tenen un comportament similar a la fracció més fina, on s'obté especial diferències en el quars, el feldespat i la goethita. Per altra banda, s'espera menys diferència amb la base de dades de Claquin, ja que aquesta és molt més homogènia al considerar menys unitats del sòl.

Les incerteses associades als diferents mètodes d'agregació són molt elevades i en aquest apartat, s'ha pogut observar la importància que pot arribar a tenir el mètode d'agregació que s'utilitza i aquest pot marcar diferències importants, arribant a diferències absolutes superiors en la mineralogia del sòl del 25 % o del 30 % en l'illita i en la kaolinita en la fracció d'argila respectivament, i en conseqüència pot marcar variacions en l'estimació de l'emissió de la pols mineral. En tot, s'observa que les diferències més importants no corresponen en grans zones d'emissió de pols, cosa que atenuarà les diferències entre mètodes d'agregació en l'emissió. Altrament, s'ha pogut observar una incertesa en les diferents bases de dades de la textura del sòl a nivell global, havent-hi diferències si s'utilitza en el MP amb el HWSD o el STATSGO-FAO. Tanmateix, les diferències entre el MA i el MP són molt similars a les diferències del MA amb el TSD, en conseqüència en els següents apartats únicament es tindrà en compte els mètodes d'agregació del TSD i del MA.



Gràfic 5. Comparació de la diferència absoluta de tres minerals del mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb el mètode de la mitjana, la mitjana ponderada amb el HWSD i la mitjana ponderada amb el STATSGO-FAO en la fracció d'argila amb la mineralogia del sòl de Journet.

6. Anàlisi de sensibilitat dels diferents esquemes d'emissió de la pols en el model

MONARCH

En aquesta secció s'estudia l'emissió dels diferents minerals tenint en compte quatre diferents esquemes d'emissió, els qual ens permetran analitzar la distribució de minerals emesos segons diferents metodologies. Tanmateix, ens permetran fer una comparació de l'emissió per la mineralogia de Claquin i de Journet, i alhora tenint en compte els mètodes d'agregació del TSD i de la MA.

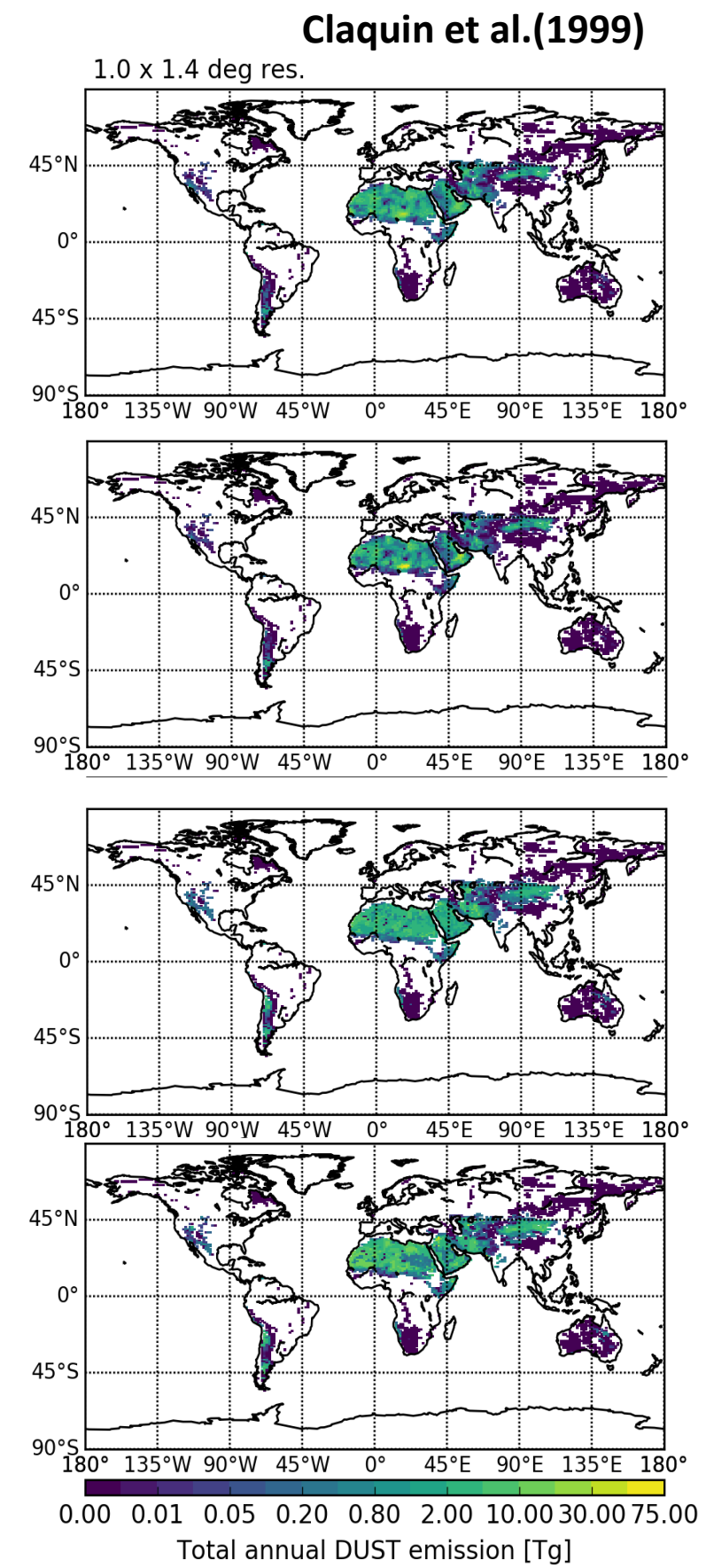
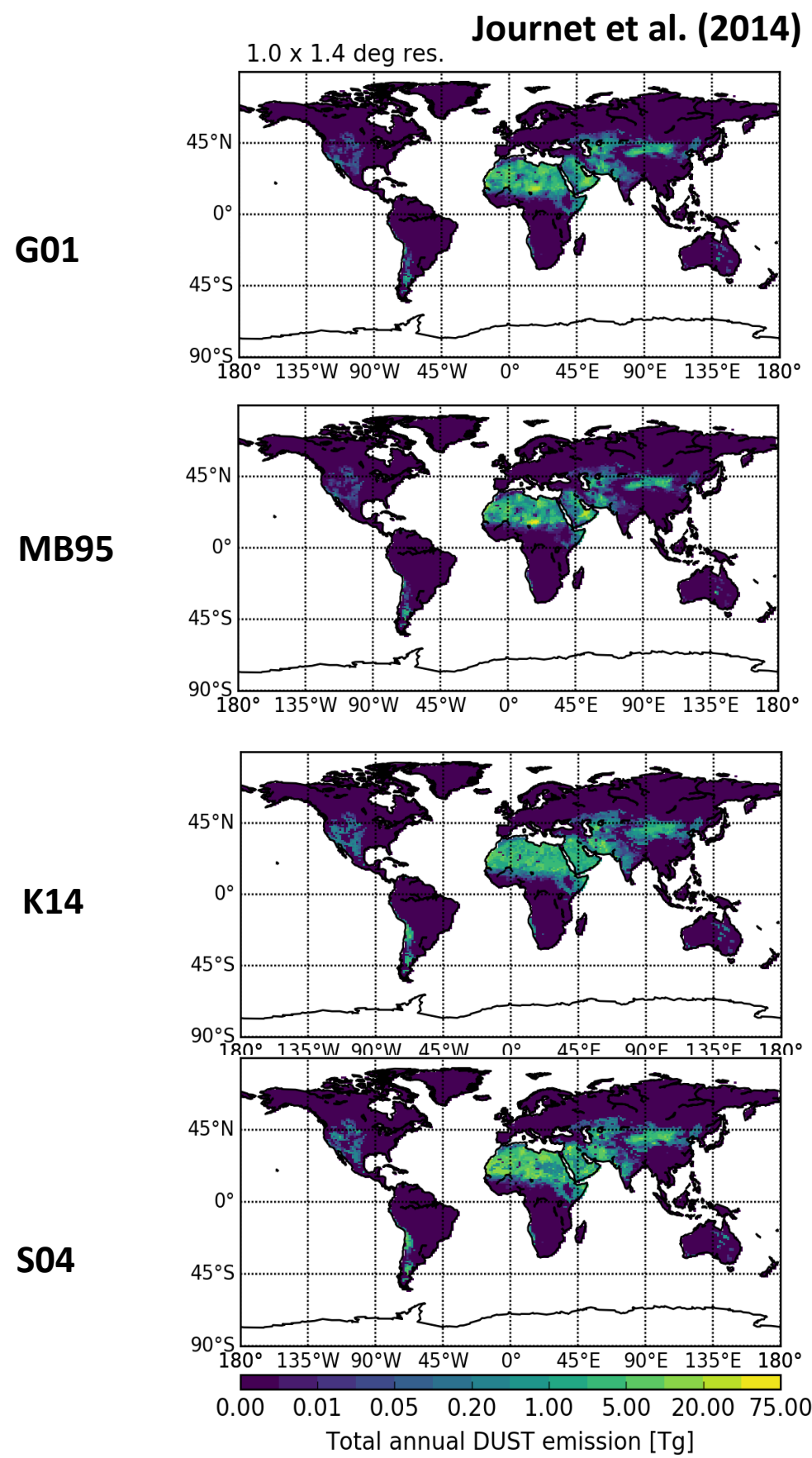
Primerament, s'analitza pel mètode d'agregació del TSD tant per Journet com per Claquin per poder veure les diferències en emissió dels dos estudis i per analitzar la variació segons els diferents esquemes d'emissió. Seguidament, s'analitzarà les diferències entre l'ús del TSD i del mètode MA en l'emissió mineralògica. Per finalitzar amb una comparació entre els diferents mètodes d'emissió. En les dues primeres seccions (6.1 i 6.2) s'utilitza el mètode 51 per calcular l'emissió mineralògica.

6.1. Emissió mineralògica total segons el tipus d'agregació del TSD

En la taula 7 es resumeix l'emissió total de pols en teragrams (Tg) obtinguda segons els diferents esquemes d'emissió, tenint en compte la mineralogia de Journet i de Claquin i utilitzant el mètode d'agregació del TSD. Per altra banda, en els gràfics 6 es pot observar la distribució global de l'emissió de pols per Claquin i per Journet i els quatre esquemes diferents d'emissió.

Taula 7. Emissió total de pols utilitzant la mineralogia de Journet i la mineralogia Claquin en teragrams per l'any 2012.

	Journet	Claquin
Ginoux et al. (1995) (Tg/any)	3587	3486
Kok et al. (2014) (Tg/any)	3698	3549
Shao et al. (2004) (Tg/any)	5940	5737
Martcorena and Bergametti (1995) (Tg/any)	3461	3365



Gràfic 6. Mapes de la emissió global de pols l'any 2012 segons els esquemes d'emissió G01, MB95, K14 i S04 per la mineralogia de Journet i Claquin.

A primera vista s'observa com la mineralogia de Claquin té una menor emissió total de pols que Journet en tots els esquemes però això simplement és degut a que té una menor definició de les zones d'emissió de pols, i en conseqüència no té en compte zones on segons els diferents esquemes d'emissió s'emet, sinó fos per aquest fet hauríem de tenir una emissió igual per a cada esquema d'emissió. Per altra banda, es pot observar com els esquemes de emissió tant de G01, K14 i MB95 tenen un rang d'emissió relativament proper, però en canvi l'esquema d'emissió de S04 té una emissió al voltant del 30 % més que els altre esquemes d'emissió, principalment a causa que S04 considera l'emissió de partícules més grosses provocant que l'emissió en massa sigui més gran. Per altra banda, altres diferències són a causa de les zones d'emissió definides i de la metodologia utilitzada per a cada esquema d'emissió, on sobretot hi ha una substancial diferència de magnitud d'emissió al nord d'Àfrica, al Orient Mitjà i al est d'Àsia, les qual són les principal fonts d'emissió de pols. Tant per S04 i K14 es pot observar com les fonts d'emissió del Nord d'Àfrica, la Índia i de Sud Amèrica són molt més extenses que els esquemes d'emissió de G01 i MB95 al basar-se en que els processos físics en l'emissió determinen la variabilitat espacial de l'emissió de pols (Gràfics 6).

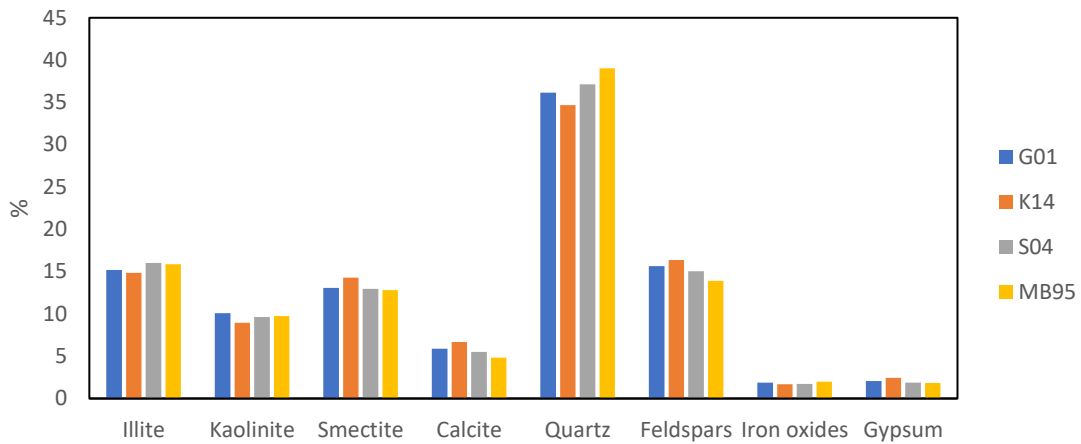
Per altra banda, s'ha analitzat l'emissió de pols per cada mineral. Amb l'objectiu de poder comparar l'emissió mineralògica de Journet i Claquin s'analitzen els percentatge d'emissió de cada mineral respecte a l'emissió total fent un mitjana aritmètica entre els quatre esquemes d'emissió diferents, i per tal de tenir en compte quina desviació hi ha entre els diferents mètodes d'emissió és calcula la desviació estàndard associada a cada mineral, de tal forma que es poden observar millor els resultats i no s'observen les diferències de magnitud d'emissió entre els diferents esquemes d'emissió. A més, s'ha de tenir en compte que Journet té en consideració la vermiculita, la clorita i la mica.

Taula 8. Mitjana i desviació estàndard de la emissió mineralògica en percentatge tenint en compte els 4 esquemes d'emissió per Claquin i per Journet per l'any 2012

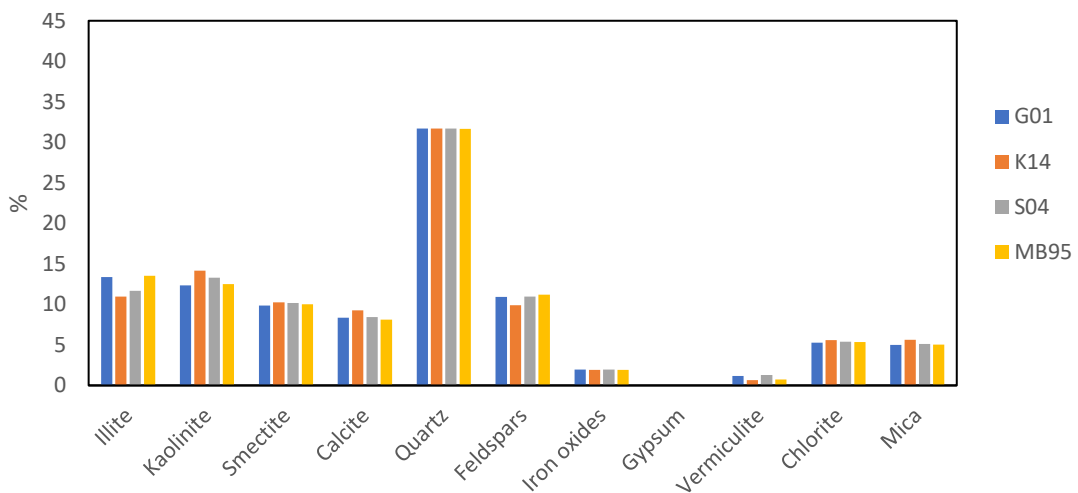
	Journet	Claquin
Minerals d'argila	41.87 ± 0.23	38.37 ± 0.22
Quars	31.69 ± 0.02	36.75 ± 1.83
Calcita	8.54 ± 0.51	5.73 ± 2.65
Feldespats	10.74 ± 0.58	15.24 ± 1.05
Òxids de Ferro	1.93 ± 0.01	1.82 ± 0.13
Gypsum	0.09 ± 0.01	2.05 ± 0.28
Mica	5.19 ± 0.30	-

Els resultats obtinguts es poden observar en els gràfics 7 i en la taula resum 8 on es mostren com en les dos mineralogies i en tots els esquemes d'emissió, el quars és el principal mineral que s'emet, on per Claquin és el 36.75± 1.83 % de l'emissió total és quars i per Journet el 31.69 ± 0.02 % de l'emissió total. Si ens fixem en els minerals d'argila: illita, kaolinita i smectita per Claquin i illita, kaolinita, smectita, vermiculita i clorita per Journet, podem observar com el percentatge d'emissió total de minerals d'argila és del 41.87 ± 0.23 % per Journet i del 38.37 ± 0.21 % per Claquin, per tant, gairebé tenen la mateixa emissió, tot i que Journet considerava dos minerals més, aquest fet és a causa de la normalització que dur a terme Claquin en les MMT. Per altra banda, es pot observar com a les MMT el % de la mineralogia del sòl corresponent a la fracció d'argila era al voltant del 60 % (Secció 4.2) i en l'emissió s'observa que disminueix al voltant del 40% , fent notòria la teoria aplicada per calcular l'emissió de minerals, on es considera que els minerals de la fracció d'argila s'emeten menys. Si ens fixem en l'emissió de calcita, observem com en Journet s'emet al voltant d'un 4% més d'emissió i l'emissió de feldespats és d'un 5% més en Claquin que en Journet.

Claquin et al. (1999)



Journet et al (2014)



Gràfics 7. Emissió mineralògica total en percentatge per mineral per Claquin i Journet l'any 2012.

Per altra banda, s'observa com el gypsum té el doble de percentatge en Claquin que en Journet, la qual cosa és deguda a que Journet en les MMT considera que el total de gypsum es divideix a parts iguals entre la fracció de llims i la fracció d'argila, i considera que la proporció de gypsum en els sòls és molt baixa en comparació a Claquin. L'últim mineral que tenen en comú les dos mineralogies del sòl són els òxids de ferro, on pel cas de Journet s'ha sumat la hematita i la goethita per poder-ho comparar amb Claquin. S'observa com la diferència entre les dues mineralogies és molt poca, tot i que Journet assigna la major part dels òxids de ferro a la fracció d'argila i, Claquin assigna el mateix contingut d'òxids de ferro en les dues fraccions. També, s'ha de tenir en compte que les principals regions amb alta concentració d'òxids de ferro en Journet no són regions

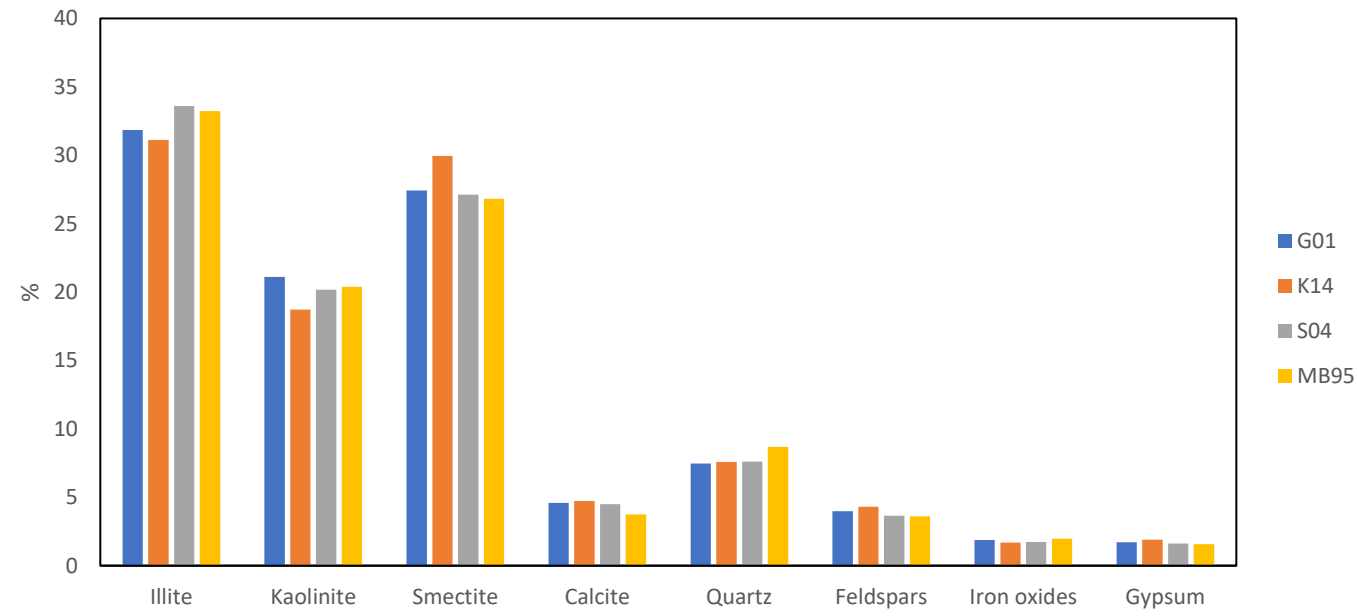
potencialment emissores actualment, i per aquest motiu tenim una baixa emissió d'òxids de ferro.

Altrament, es pot observar com els diferents esquemes d'emissió tenen un percentatge d'emissió de minerals molt semblant, on això es veu accentuat en el cas de Journet. Tanmateix, per Claquin s'observa com les desviacions estàndards corresponents als diferents minerals són una mica més elevades però dintre d'unes desviacions estàndards petites, on la màxima desviació és en la calcita, on el percentatge d'emissió en el K14 és gairebé el doble que el del MB95. Si ens fixem en el comportament dels diferents esquemes d'emissió (Gràfic 7) podem observar com actuen de manera diferent segons cada mineral i segons cada base de dades utilitzades, on per exemple, podem observar com el MB95 en Claquin té minerals on el percentatge d'emissió és el més gran (ex. quars) i altres minerals on el percentatge d'emissió on és el que menys s'emet (ex. calcita). Segurament, aquest fenomen és a causa de la diferent potenciació de les zones d'emissió en cada esquema d'emissió. A més, en Journet això es veu disminuït a causa de les aproximacions que fa per construir les MMT i el número tan elevat d'unitats del sòl que té en compte.

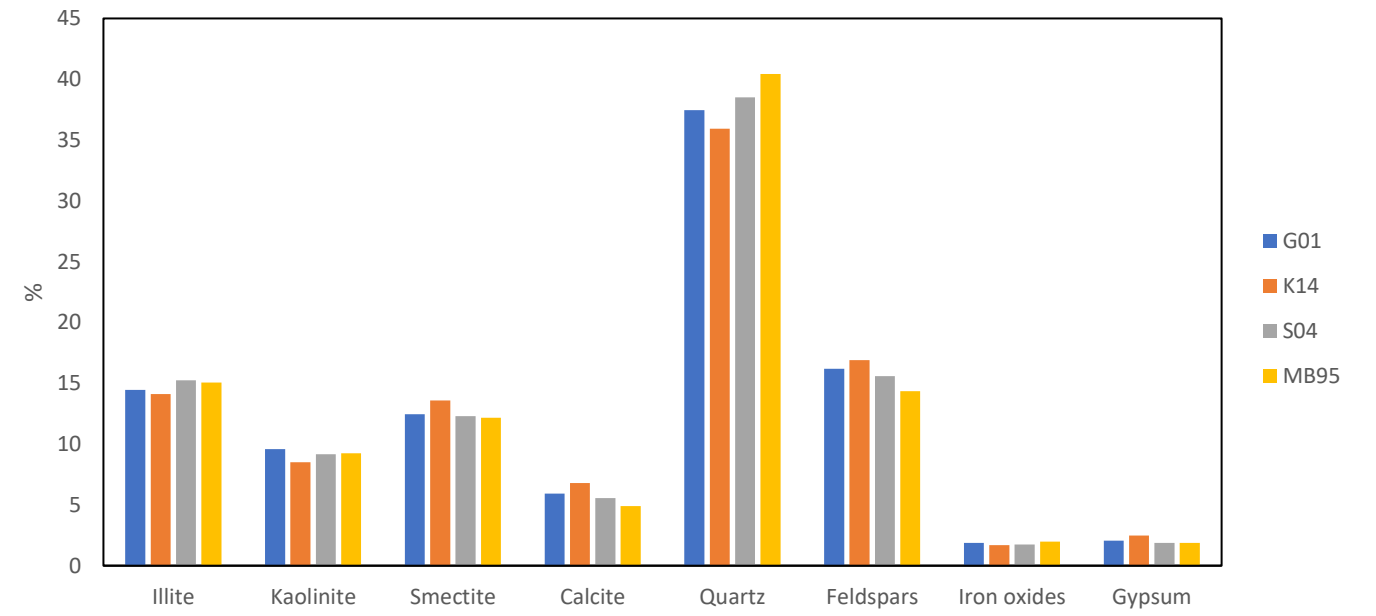
En particular, si ens fixem en la fracció de llims i en la fracció d'argila per separat per analitzar les diferències entre bases de dades podem observar com els esquemes d'emissió en Journet tenen un comportament diferent en les dues fraccions (Gràfics 8). En concret, es pot observar com en la fracció on s'han dut a terme menys aproximacions (fracció d'argila) en la construcció de les MMT té un major variabilitat en els diferents esquemes d'emissió. En canvi, en la fracció de llims on les aproximacions en les MMT són molt elevades el comportament dels diferents esquemes d'emissió és molt més homogeni en tots els minerals. Es pot exemplificar fàcilment en la clorita, on Journet assigna en la majoria de sòls en la fracció de llims el contingut de clorita respecte a la mitjana de totes les dades de la fracció de llims sobre aquest mineral, fent que per la majoria de sòls hi hagi un percentatge de clorita molt semblant, i en conseqüència en l'emissió els diferents esquemes tenen un comportament molt similar en la fracció de llims. Si ens fixem en la fracció d'argila per la clorita, on s'han dut menys aproximacions, el comportament dels esquemes d'emissió és molt menys similar.

Per altra banda, si ens fixem en Claquin es pot observar com el comportament tant en la fracció de llims com en la fracció d'argila és molt similar, a causa de la menor quantitat d'aproximacions dutes a terme. En conclusió, Journet al du a terme més aproximacions en la construcció de les MMT fa que les diferències entre els diferents esquemes d'emissió es vegin atenuades. Altrament, si ens fixem en els percentatges d'emissió en les dues fraccions podem observar com hi ha minerals on el gran percentatge d'emissió se centra en una sola fracció, com podria ser el cas del quars, la mica i els feldespats, on en la fracció d'argila suposa un percentatge molt petit en comparació al percentatge total d'emissió.

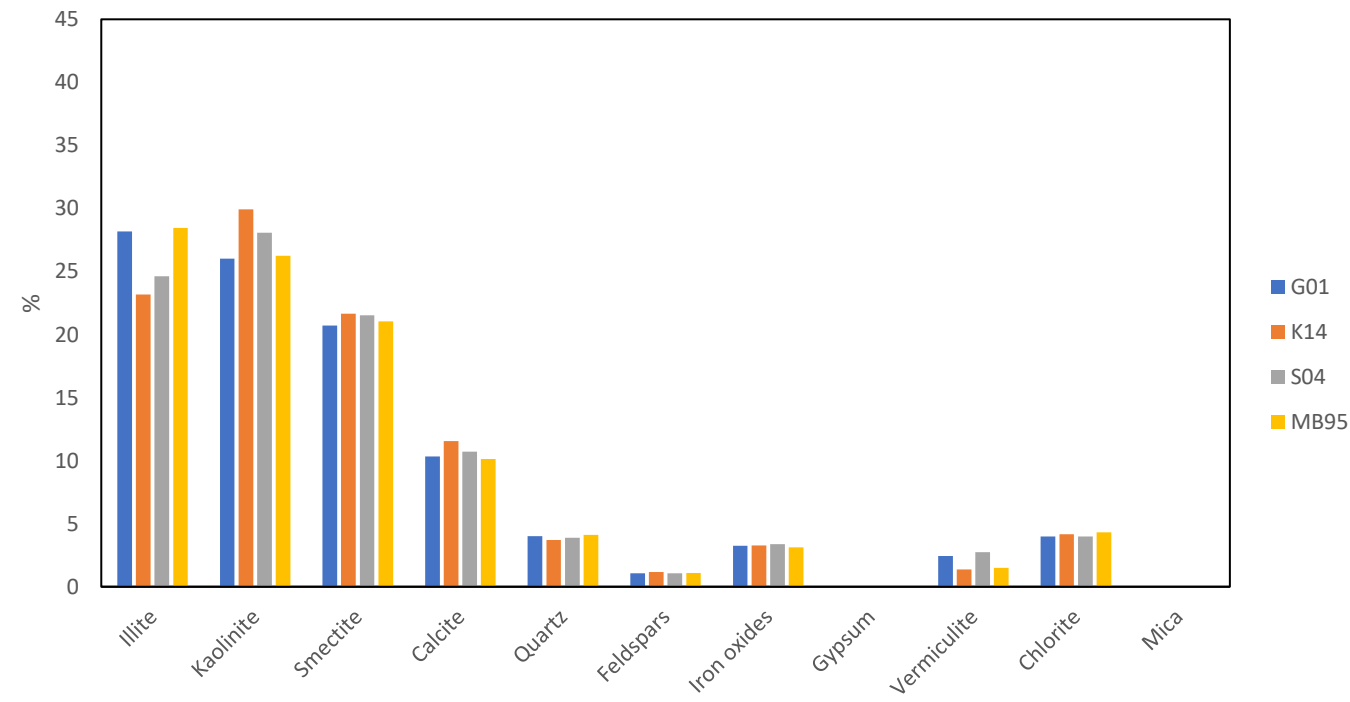
Claquin et al. (1999) - Fracció d'argila



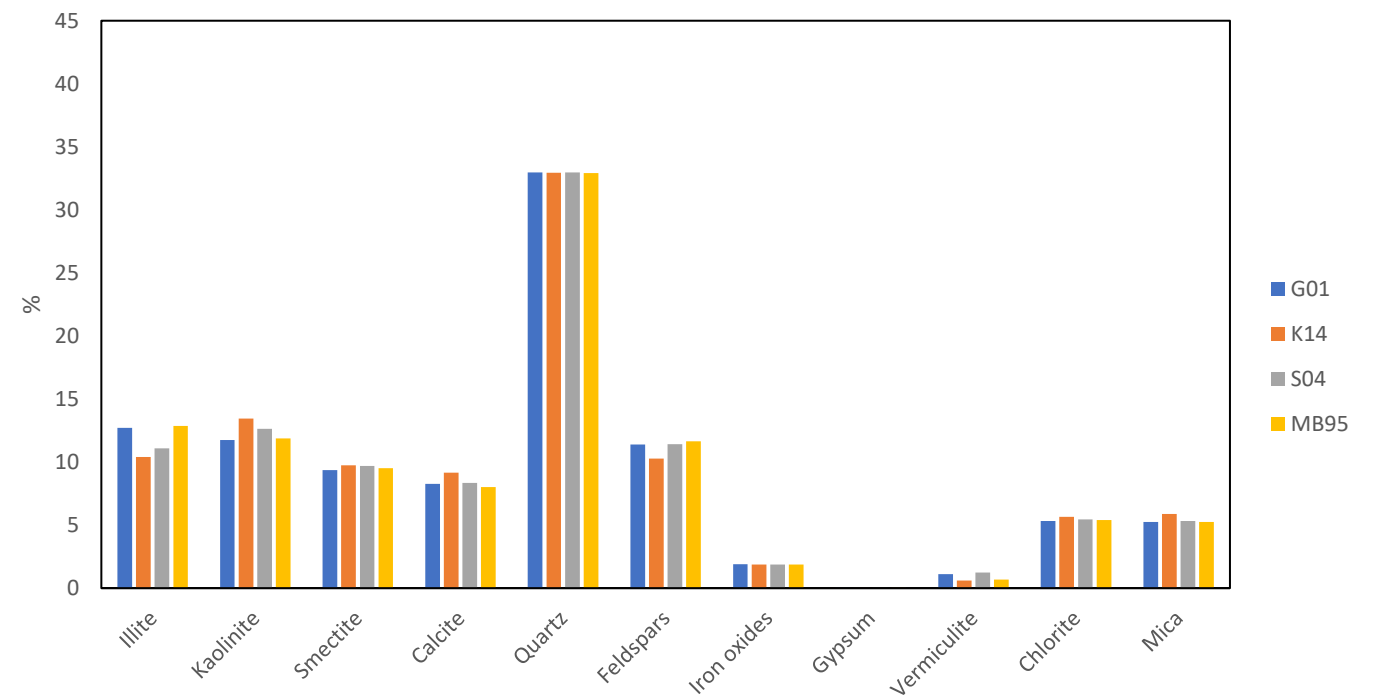
Claquin et al. (1999) - Fracció de llims



Journet et al (2014) - Fracció d'argila

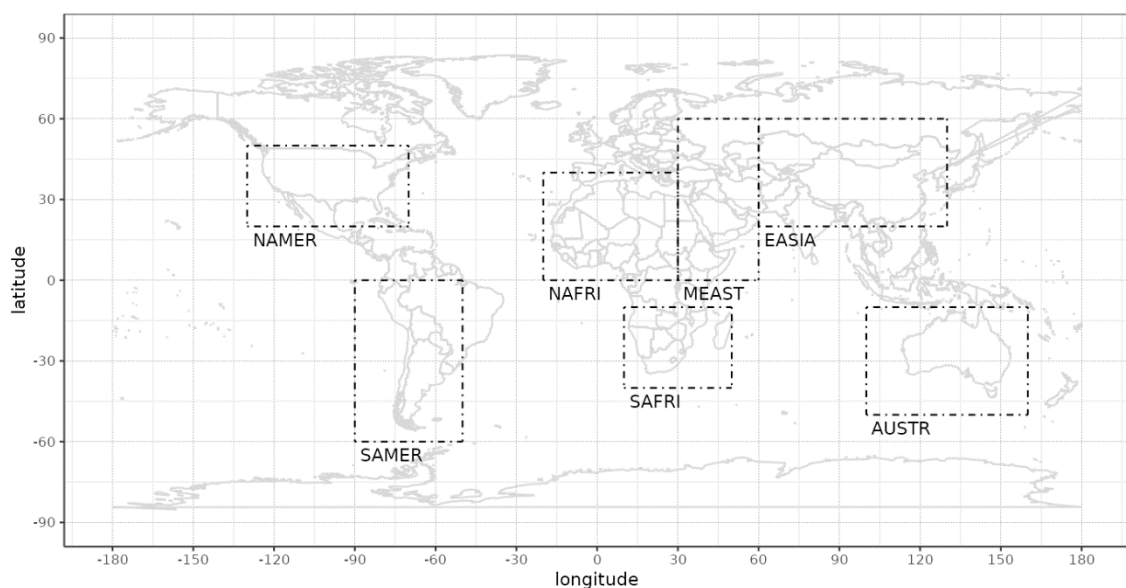


Journet et al (2014) - Fracció de llims



Gràfic 8. Percentatge d'emissió de la fracció d'argila i la fracció de llims l'any 2012 per Claquin i per Journet.

Respecte a l'emissió dels diferents minerals, s'ha analitzat la variabilitat espacial que aquests tenen depenen de les zones d'emissió. S'ha definit un total de 7 regions principals: Nord Amèrica (NAMER), Sud Amèrica (SAMER), Nord d'Àfrica (NAFRI), Sud d'Àfrica (SAFRI), Orient Mitjà (MEA), Àsia de l'est (EASIA) i Austràlia (AUST), (Il·lustració 9), i s'ha estudiat la proporcionalitat dels minerals emesos segons l'emissió total en aquella regió. Seguint amb el mateix mètode anterior per tal de simplificar els resultats s'ha dut a terme la mitjana dels diferents esquemes d'emissió i s'ha estudiat la variància entre ells mitjançant la desviació estàndard. En les taules 9 es pot veure resumit els resultats obtinguts i s'hi pot observar l'emissió total de pols mineral per regió, on les regions principals d'emissió de pols mineral són NAFRI, MEA I EASIA tant en Journet com en Claquin. A més, s'hi pot observar com la variabilitat espacial d'emissió dels minerals és notable en les dues mineralogies i es pot percebre notablement el diferent comportament dels diferents esquemes d'emissió. Un exemple clar, és la poca homogeneïtat entre els diferents esquemes d'emissió en els minerals d'argila a Austràlia per Journet, on el percentatge d'emissió és de 42.85 ± 21.67 . D'altra banda, s'observa com les diferents bases de dades potencien de manera diferent els diferents minerals segons la regió, on aquest efecte es veu més pronunciat en les regions amb una més baixa emissió de pols total, com són AUST, SAFRI, SAMER I NAMER. Diferències que poden arribar a ser del percentatge d'emissió del 10% en certs minerals i en certes regions.



Il·lustració 9. Definició de les 7 regions principals emissores de pols mineral

Per altra banda, no hi ha un patró definit de variabilitat entre les diferents bases de dades de la mineralogia del sòl, sinó que depenen de cada regió i de cada mineral, per tant el comportament n'és un o un altre. Si ens fixem en el gypsum podem veure una gran diferència entre Journet i Claquin, on per Journet únicament s'emet gypsum a MEA i NAFRI, en canvi, per Claquin hi ha una emissió gairebé igual en percentatge en totes les regions. Altrament, si ens fixem en els fel despats podem observar com l'emissió és considerablement més elevada en Journet que en Claquin en totes les regions definides.

Taula 9. Percentatge i desviació estàndard de l'emissió total i l'emissió total de pols mineral per regions per Journet i per Claquin l'any 2012.

Journet

	AUST	EASIA	MEA	NAFRI	NAMER	SAFRI	SAMER
Mineral argila	42.85 ± 21.67	42.65 ± 2.76	40.23 ± 3.97	42.41 ± 2.97	39.78 ± 2.81	45.48 ± 6.70	42.41 ± 2.20
Quars	35.29 ± 0.60	34.00 ± 0.15	31.57 ± 0.66	30.87 ± 0.51	33.32 ± 0.37	35.47 ± 0.29	37.41 ± 0.68
Calcita	1.78 ± 1.28	8.55 ± 0.81	10.25 ± 0.66	8.06 ± 0.78	8.40 ± 0.62	3.28 ± 2.17	3.90 ± 0.15
Fel despats	10.66 ± 1.01	8.56 ± 0.22	10.77 ± 0.48	11.31 ± 0.55	10.76 ± 0.25	8.55 ± 0.27	8.53 ± 0.55
Òxids de ferro	4.78 ± 1.59	1.48 ± 0.13	2.18 ± 0.24	1.89 ± 0.25	2.59 ± 0.30	2.33 ± 0.34	2.79 ± 0.29
Gypsum	0.00 ± 0.00	0.07 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Mica	4.65 ± 0.31	4.71 ± 0.18	4.97 ± 0.14	5.45 ± 0.45	5.16 ± 0.16	4.89 ± 0.47	4.95 ± 0.06
Emissió total (Tg)	7.86 ± 1.34	570.01 ± 238.06	1104.61 ± 303.32	2338.63 ± 646.42	27.09 ± 17.27	9.26 ± 2.26	112.46 ± 70.49

Claquin

	AUST	EASIA	MEA	NAFRI	NAMER	SAFRI	SAMER
Mineral argila	41.98 ± 0.79	39.39 ± 1.93	38.47 ± 6.17	37.92 ± 2.65	42.13 ± 2.61	38.88 ± 4.61	41.34 ± 2.30
Quars	33.53 ± 0.35	38.01 ± 0.78	32.58 ± 2.32	37.81 ± 3.10	38.04 ± 0.56	45.41 ± 3.45	42.94 ± 2.12
Calcita	1.26 ± 0.18	5.35 ± 0.43	5.14 ± 0.98	6.27 ± 1.28	2.29 ± 0.74	4.91 ± 1.87	2.81 ± 1.08
Fel despats	20.24 ± 0.40	13.90 ± 0.56	18.57 ± 1.76	14.44 ± 1.95	13.71 ± 0.35	7.72 ± 1.45	10.09 ± 1.03
Òxids de ferro	1.98 ± 0.00	1.47 ± 0.04	3.10 ± 0.92	1.38 ± 0.11	2.52 ± 0.22	0.93 ± 0.31	1.32 ± 0.12
Gypsum	1.01 ± 0.01	1.78 ± 0.09	2.10 ± 0.35	2.14 ± 0.39	1.32 ± 0.21	2.15 ± 0.69	1.44 ± 0.26
Emissió total (Tg)	2.79 ± 2.49	517.04 ± 205.27	1013.59 ± 284.23	3315.4 ± 31.67	13.69 ± 8.19	7.63 ± 2.53	78.63 ± 53.85

Així doncs, es pot observar com les aproximacions dutes a terme tant per Claquin com per Journet tenen un impacte important en l'emissió, sobretot en el cas de Journet que fa que tots els esquemes d'emissió es comportin d'una manera molt similar, aquest efecte es veu agreujat en la fracció de llims, on en general hi ha un contingut molt menor de dades disponibles dels diferents minerals i en conseqüència les incerteses associades són molt majors, provocant un comportament homogeni dels diferents esquemes d'emissió. Per altra banda, s'ha pogut comprovar com les fonts d'emissió principal de pols concorden entre les dues bases de dades i s'ha pogut observar com la variabilitat espacial dels minerals emesos és considerable i marcada en Journet i Claquin, on el comportament és diferenciat segons cada mineral i cada regió.

6.2. Comparació en l'emissió mineralògica entre el mètode d'agregació del TSD i la MA

En aquesta secció s'estudia el comportament dels diferents esquemes d'emissió en els diferents mètodes d'agregació per passar de mapes d'alta resolució a baixa. En concret, ens centrarem en la mineralogia de Journet, ja que pel nombre d'unitats del sòl és la que s'esperaria una major diferència entre els diferents mètodes d'agregació.

En la taula 10 es pot observar l'emissió total de pols mineral resultant de la utilització d'un mètode d'agregació o d'un altre. En el mètode d'agregació de la MA es pot percebre com té una emissió total de pols mineral inferior a la del dominant en tots els esquemes d'emissió. En concret, la diferència entre els dos mètodes d'emissió és al voltant d'un 1% menys d'emissió en la MA respecte al TSD en tots els esquemes d'emissió, és a dir, una diferència relativament petita en l'emissió total de pols.

Taula 10. Emissió total de pols en teragramms pel mètode del tipus de sol dominant i de la mitjana en Journet, l'any 2012

	Dominant (TSD)	Mitjana (MA)
G01 (Tg)	3586.62	3561.45
S04 (Tg)	3698.24	3658.35
K14 (Tg)	5939.53	5877.80
MB95 (Tg)	3460.91	3439.49

En relació a la mineralogia es pot observar com el comportament en tots els esquemes d'emissió es molt similar tant en el TSD com en la MA, en gran part a causa de les aproximacions dutes a terme per Journet. Altrament, es pot observar en la taula 11 com els percentatges d'emissió en els dos mètodes són molt similars havent diferències relativament petites. Les diferències principals del TSD i la MA rauen en la metodologia feta servir per cada mètode d'agregació i aquestes diferències es veuen agreujades en certs minerals. Els minerals amb una major diferència són els òxids de ferro i el gypsum, on pels òxids de ferro el TSD té una emissió superior del 36 % en respecte al de la MA. Per altra banda, l'emissió de gypsum és el doble en la MA respecte el TSD. Aquestes diferències sobretot venen donades pel fet de que el TSD, al passar d'alta resolució a baixa resolució perd certa informació sobre certs tipus d'unitats del sòl, els qual no són dominants en certes cel·les. En canvi, el mètode de la MA al tenir en compte tots les dades de la mineralogia en totes les cel·les pot tenir emissió de certs minerals que el dominant no té en compte. Un altre focus de diferències són les zones on es passa d'una alta concentració a una baixa concentració, on el mètode de la MA fa una transició més suau que el mètode del TSD. Aquests fets es veuen agreujats en les zones amb poca homogeneïtat i amb molts tipus de sòl. En tot, les diferències entre els diferents mètodes d'agregació no són molt notables, i a causa del menor número de sòls utilitzats en Claquin aquestes diferències encara són menys notòries.

Taula 11. Percentatge i desviació estàndard de l'emissió dels diferents minerals segons Journet utilitzant el mètode d'agregació del tipus de sòl dominant (TSD) i de la mitjana aritmètica (MA) l'any 2012.

	Dominant (TSD)	Mitjana (MA)
Illita	12.38 ± 1.28	12.50 ± 0.99
Kaolinita	10.07 ± 0.18	10.03 ± 0.13
Smectita	13.07 ± 0.83	12.68 ± 0.65
Vermiculita	5.40 ± 0.13	5.43 ± 0.09
Quars	0.95 ± 0.32	1.28 ± 0.22
Clorita	10.74 ± 0.58	10.75 ± 0.46
Feldespat	31.69 ± 0.02	31.56 ± 0.04
Mica	8.54 ± 0.51	8.65 ± 0.42
Calcita	0.54 ± 0.09	0.54 ± 0.07
Òxids de ferro	1.93 ± 0.09	1.43 ± 0.07
Gypsum	0.02 ± 0.01	0.04 ± 0.01
Mica	5.19 ± 0.30	5.16 ± 0.21

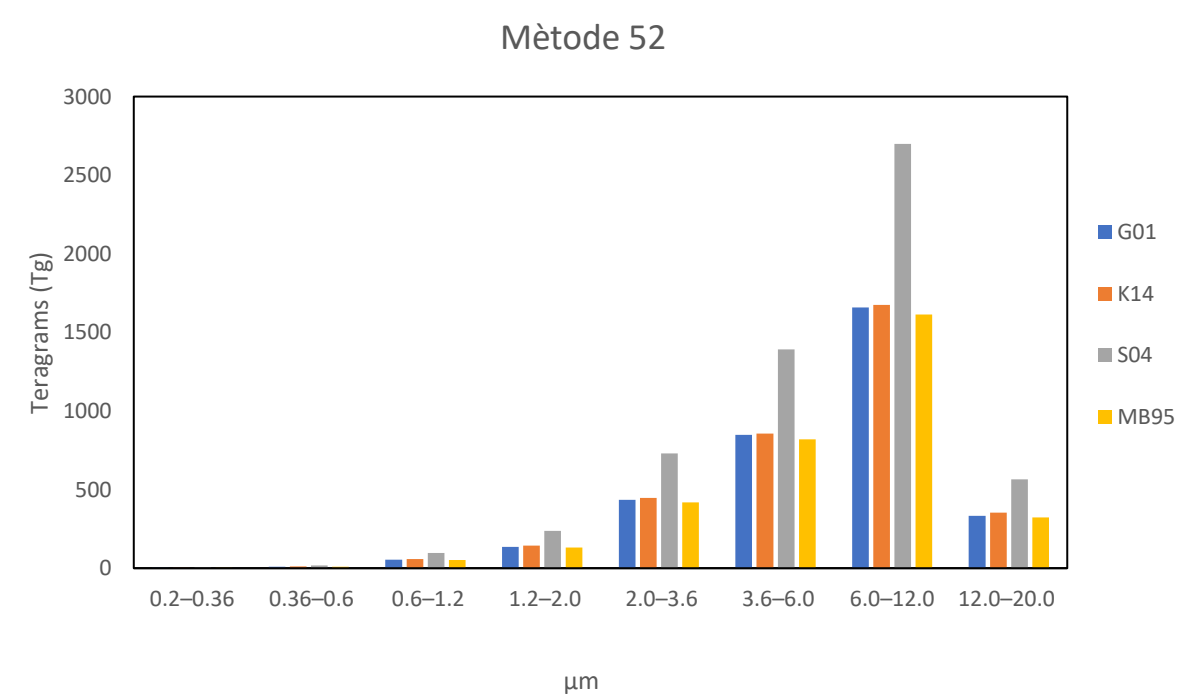
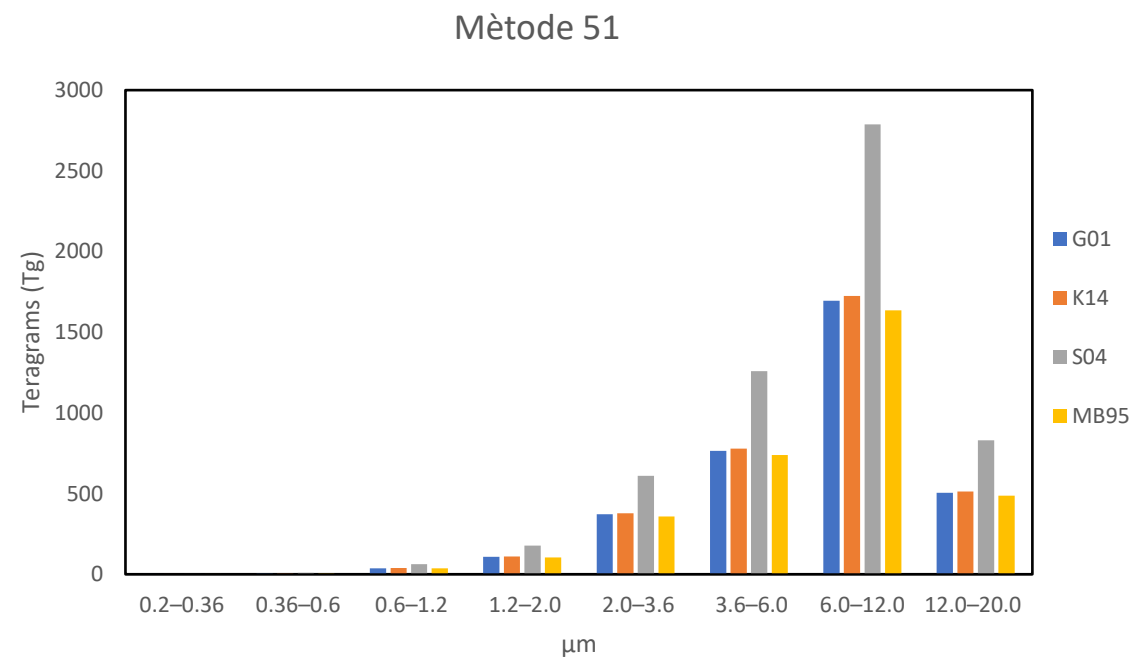
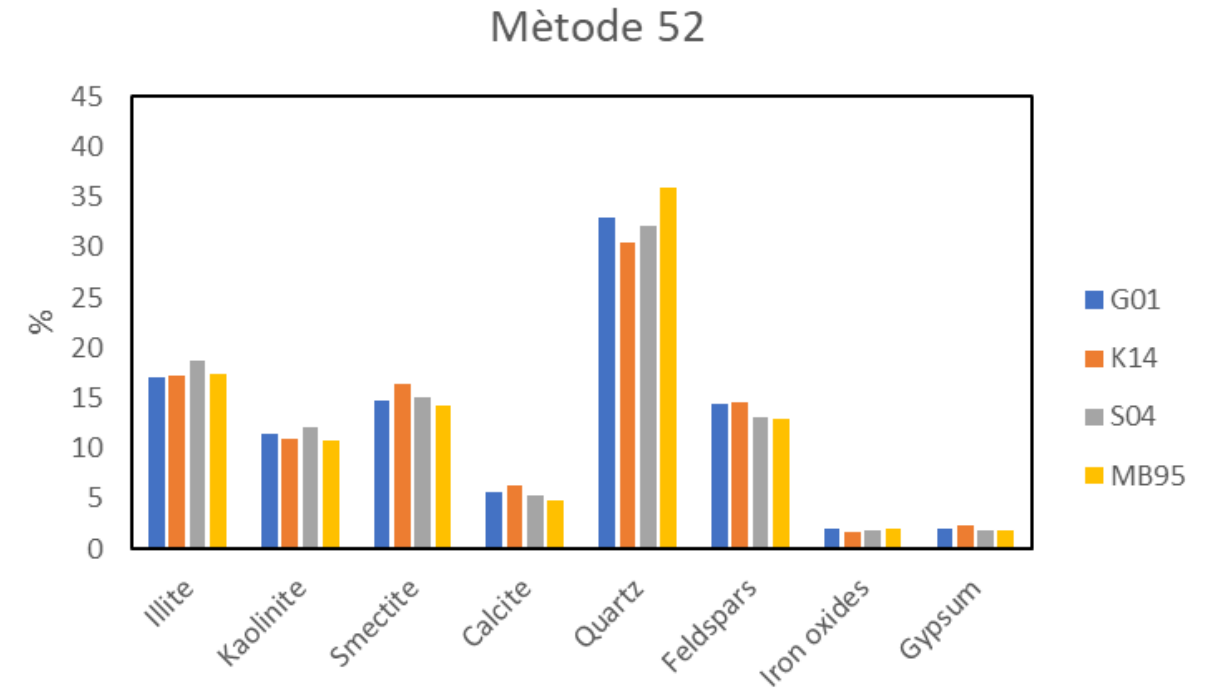
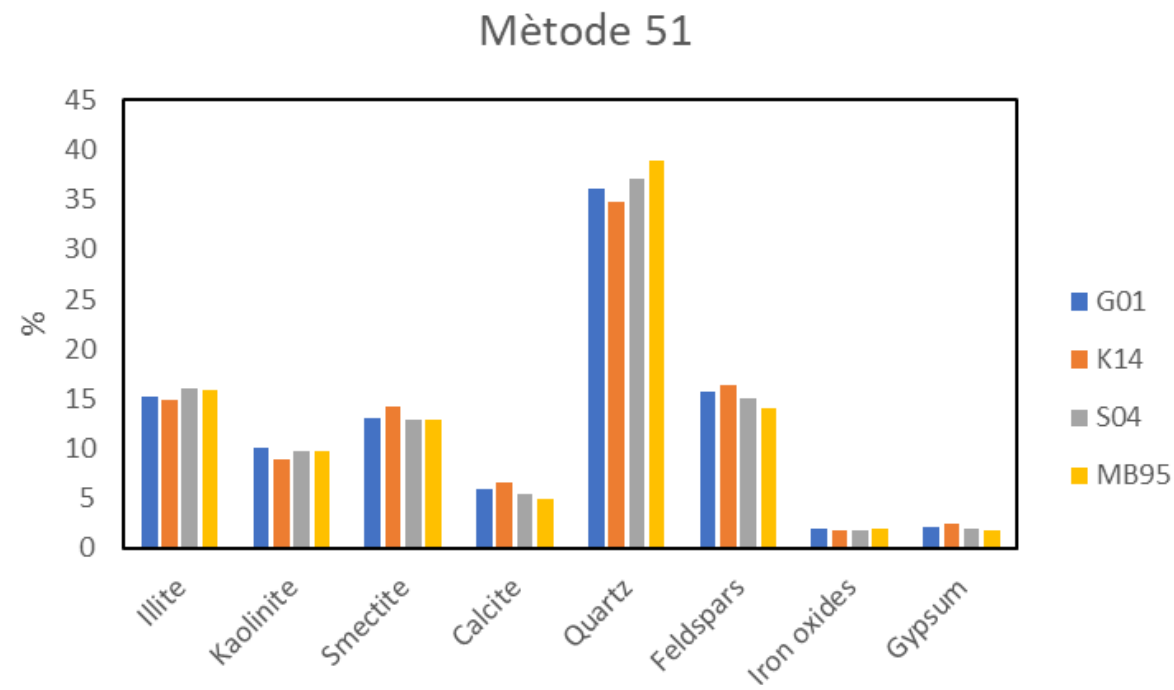
Per altra banda, es pot observar com les diferències en emissió entre mètodes d'agregació són molt menors que les diferències quan s'estudia sobre la mineralogia del sòl global (secció 5.2). Aquest fet es degut a que principalment les diferències sobre la mineralogia del sòl entre el TSD i el MA provenien de zones on l'emissió actual de pols no és molt significativa, en conseqüència quan estudiem l'emissió mineralògica aquestes diferències no són notables, i obtenim que les diferències entre el TSD i el MA en emissió no són significatives.

6.3. Comparació en l'emissió mineralògica entre dos mètodes d'emissió

En aquesta secció s'ha dut a terme una comparació entre diferents mètodes d'emissió per tal de realitzar un anàlisi de sensibilitat entre els dos mètodes d'emissió considerats utilitzant el mètode d'agregació del TSD. S'ha realitzat la anàlisi per Claquin com a referència per a posteriors estudis incloure aquest anàlisi per Journet.

En el gràfics 9 es pot observar com el comportament dels diferents esquemes d'emissió en percentatge és molt similar en els dos mètodes. Per altra banda, en el mètode 52 hi ha un augment aproximat del 5% d'emissió dels minerals d'argila (illita, kaolinita i smectita) i en contrapartida hi ha disminució del 3,5 % en emissió de quars i del 1,5 % en l'emissió de feldespat. Tanmateix, les principals diferències entre els dos mètodes es veuen més reflectides en la fracció de llims, on hi ha una major emissió en el mètode 52 en els blocs amb una distribució de mida de 2.0–3.6 μm i 3.6–6.0 μm , explicant així l'augment en l'emissió dels minerals d'argila i la disminució de l'emissió de quars i de feldespat. En contrapartida, s'ha pogut comprovar com l'emissió dels òxids de ferro, la calcita i el gypsum es mostren gairebé invariants entre els dos mètodes. Si ens fixem en els gràfics de la distribució de mida podem veure clarament com en mètode 52 hi ha un augment d'emissió en la fracció de llims en el rang de 2.0 a 6.0 μm i una disminució d'emissió del rang de 6.0 a 12.0, on l'emissió de quars i feldespat és dominant. Per altra banda, s'observa com l'emissió de la fracció d'argila en massa és molt més inferior que la fracció de llims però s'observa com hi ha una major emissió en el mètode 52 en tots els blocs de la fracció d'argila (4 primers blocs).

En conclusió, la utilització dels diferents mètodes d'emissió pot tenir efectes importants en l'emissió sobretot dels mineral d'argila, el quars i els feldespat, però no mostren gairebé diferències en el comportament dels diferents esquemes d'emissió.



Gràfic 9. Gràfics superiors: Emissió mineralògica en percentatge en el mètode 51 i mètode 52 per Claquin l'any 2012. Gràfics inferiors: Emissió mineralògica total per blocs de distribució de mida en el mètode 51 i mètode 52 per Claquin l'any 2012.

7. Conclusions

La composició i la quantitat de la pols mineral que es transporta i que està present en l'atmosfera juga un paper important en els sistemes atmosfèrics, terrestres i oceànics, afectant tant al balanç radiatiu global, intervenint en els processos de formació de núvols, modulant els cicles biogeoquímics, afectant la química atmosfèrica i a la salut humana. No obstant això, la majoria de models atmosfèrics i climàtics consideren la pols mineral com una entitat homogènia a causa de les incerteses que existeixen en la composició mineralògica de les fonts de pols, les incerteses en la quantitat i distribució de mides dels minerals emesos i al increment del cost computacional que suposa la introducció dels minerals en els models. En aquest treball, s'ha determinat d'una manera qualitativa i quantitativa: i) les incerteses que engloben a la composició dels sòls segons les bases de dades de dades de la mineralogia del sòl i les seves aproximacions, ii) les incerteses associades a la integració de la mineralogia del sòl en models atmosfèrics i climàtics, iii) les incerteses en l'estudi de la composició de l'emissió de pols, observant les diferències en l'emissió de les bases de dades de la mineralogia del sòl, el comportament dels diferents mètodes d'integració en l'emissió i analitzant diferents mètodes d'emissió.

S'ha analitzat tres bases de dades de mineralogia del sòl les quals es basen en la relació entre la composició mineral i els diferents tipus del sòl: Claquin et al. (1999), Journet et al. (2014) i Ito et al. (2017). S'ha pogut comprovar que tot i tenir una metodologia principal comuna les diferències entre elles són significatives i importants, tant en la fracció d'argila com en la fracció de llims a causa de les múltiples aproximacions que duen a terme per tal de poder completar la informació mineralògica per certs minerals i per certs tipus de sòl, arribant a diferències superiors al 15 % en percentatge total en minerals com el quars en la fracció d'argila, tot i considerar una normalització pels minerals que les tres bases tenen en comú. La manca de dades de la mineralogia del sòl i les tècniques de mostreig són les principals causes de les incerteses associades a la mineralogia del sòl. La mineralogia de Ito, únicament utilitza mesures de la composició del sòl amb tècniques poc destructives aconseguint així una millor definició de la distribució de mides, però per al contrari utilitza molt poques mesures de la composició del sòl i unitats del sòl,

augmentant així la incertesa associada a aquesta mineralogia. Tanmateix, Claquin utilitza poques mesures del sòl i poques unitats del sòl, però al centrar-se únicament en donar cobertura a les zones àrides i semi-àrides del planeta la seva incertesa associada disminueix, en tot, no té en compte possibles futures zones d'emissió. Finalment, la mineralogia de Journet es basa en un gran nombre de mesures i d'unitats del sòl, però les aproximacions que ha de dur a terme per tal de donar una cobertura global són majors que les altres bases de dades.

La majoria de models climàtics i atmosfèrics treballen amb resolucions espacials de l'ordre de centenars de Km, mentre que les bases de dades del sòl proveeixen informació amb una resolució espacial molt més elevada (Fins a 1 km a nivell global). En conseqüència, per tal de poder agregar la informació mineralògica en els models es veu necessari la utilització de mètodes d'agregació. En aquest treball, s'ha analitzat i comparat tres mètodes d'agregació diferents: tipus de sol dominant (TSD), mitjana aritmètica (MA) i mitjana ponderada per la textura del sòl (MP). En concret, per a aplicar aquest últim mètode s'ha tingut en compte dos bases de dades disponibles de textura del sòl a nivell global: HWSD i STATSGO-FAO. Primerament, s'ha comprovat que simplement el pas d'alta resolució a baixa resolució amb el TSD implica la pèrdua de definició i l'aproximació dels valors mineralògics és important, sobretot en les zones amb una baixa homogeneïtat de valors mineralògics. Comparant els diferents mètodes d'agregació s'ha observat una diferència significativa entre el TSD i el MA, arribant a diferències absolutes superiors al 30 % en alguns minerals. Per altra banda, les diferències entre el MA i el MP no són molt notables, essent més rellevants pel MP amb el HWSD per la poca homogeneïtat de valors en el HWSD.

En aquest treball addicionalment, s'han considerat les incerteses inherents a la simulació de l'emissió de la pols a nivell global, mitjançant la selecció de quatre esquemes d'emissió disponibles en els que canvien tant les fonts d'emissió com el flux emès de pols i la seva distribució de mides. A més, s'ha analitzat l'efecte de dos mètodes d'emissió diferents per tal d'especificar la fracció mineralògica en emissió basada en la teoria de la

fragmentació de materials fràgils de Kok (2011) en el procés de saltació. D'aquesta manera, s'ha analitzat: i) el comportament i l'emissió de la mineralogia de Claquin i Journet segons els quatre esquemes d'emissió disponibles, ii) el comportament dels diferents mètodes d'agregació de la mineralogia del sòl en l'emissió, iii) i l'emissió mineralògica segons dos mètodes d'emissió diferents: Mètode 51 i Mètode 52. i) S'ha pogut observar com les diferències del percentatge d'emissió de minerals entre Journet i Claquin són notòries en gairebé tots els minerals menys en els òxids de ferro i el gypsum. Respecte a l'estudi regional de l'emissió mineralògica s'ha pogut observar com la variabilitat espacial dels minerals emesos és considerable, on el comportament és diferenciat segons cada mineral i cada regió, tant en Journet com en Claquin. Per altra banda, el comportament dels diferents esquemes d'emissió és més variant en Claquin que en Journet, a causa de la quantitat d'aproximacions que Journet dur a terme que fa que s'atenuïn les diferències entre els esquemes d'emissió. Augmentant aquestes diferències entre esquemes d'emissió en la fracció d'argila, on es duen a terme menys aproximacions. ii) Respecte a l'estudi dels diferents mètodes d'agregació en l'emissió s'ha comprovat com les diferències entre la utilització el TSD i el MA no són molt significatives i gairebé inexistents per la majoria de minerals, on les diferències més importants es troben en els òxids de ferro i en el gypsum. Altrament, es pot observar com les diferències en emissió entre mètodes d'agregació són molt menors que les diferències quan s'estudia sobre la mineralogia del sòl global, a causa que la homogeneïtat dels valors mineralògics en les zones definides d'emissió és alta, provocant poca diferència entre mètodes d'agregació. iii) Finalment, s'ha vist com la utilització de diferents mètodes d'emissió pot tenir diferències notables en l'emissió, sobretot en els minerals d'argila, el quars i els fel despats a causa de que el mètode 52 té una major emissió mineralògica en els blocs de distribució de mida 2.0–3.6 μm i 3.6–6.0 μm .

En conclusió, s'ha pogut observar com els factors amb una major influència en l'estudi de l'emissió mineralògica són les bases de dades i els diferents mètodes d'emissió, per altra banda, s'ha comprovat com els diferents mètodes d'agregació no tenen una importància significativa quan es vol definir l'emissió mineralògica tenint en compte les fonts d'emissió de pols actual. D'aquesta manera en els següents mesos es continuarà

treballant per definir millor aquestes incerteses associades a l'emissió, on s'analitzarà l'ús del mètode 52 amb la mineralogia de Journet, on s'espera una major diferència que en Claquin i es treballarà també en la implantació del mètode 52 utilitzant el mètode d'agregació MA.

8. Bibliografia

AR4 Climate Change 2007: The Physical Science Basis –IPCC (2007). Disponible:

<https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>

AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis –IPCC (2013). Disponible:

<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

Atkinson, J. D., Murray, B. J., Woodhouse, M. T., Whale, T. F., Baustian, K. J., Carslaw, K.

S., Dobbie, S., O’Sullivan, D., & Malkin, T. L. (2013). Erratum: The importance of feldspar for ice nucleation by mineral dust in mixed-phase clouds. *Nature*,

500(7463), 490. <https://doi.org/10.1038/nature12384>

Baldasano, J.M. (2020). Curso de Modelización Ambiental. *Polytechnical University of Catalonia*.

Berhane, D. (2015). Determination of losing and gaining reaches in arid and semi-arid environments of NSW (Tesis doctoral). *Queensland Government, Australia*.

Cavazos Guerra, C (2011). Modelling the atmospheric controls and climate impact of mineral dust in the Sahara Desert (Tesi doctoral). *University College London*.

Claquin, T., Schulz, M., & Balkanski, Y. J. (1999). Modeling the mineralogy of atmospheric dust sources. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D18), 22243–22256. <https://doi.org/10.1029/1999jd900416>

FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC (Ed): Harmonized world soil database (version 1.1), FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria, 2009.

FAO-UNESCO (Ed): The legend of the Soil Map of the World, UNESCO, Paris, 1974

- Fubini, B., & Fenoglio, I. (2007). Toxic Potential of Mineral Dusts. *Elements*, 3(6), 407–414. <https://doi.org/10.2113/gselements.3.6.407>
- García-Pando, C., Thomson, M. C., Stanton, M. C., Diggle, P. J., Hopson, T., Pandya, R., Miller, R. L., & Hugonnet, S. (2014). Meningitis and climate: from science to practice. *Earth Perspectives*, 1(1), 14. <https://doi.org/10.1186/2194-6434-1-14>
- Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J. M., Holben, B., Dubovik, O., & Lin, S. J. (2001). Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D17), 20255–20273. <https://doi.org/10.1029/2000jd000053>
- Ginoux, P., Prospero, J. M., Gill, T. E., Hsu, N. C., & Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50(3). <https://doi.org/10.1029/2012rg000388>
- Green, R., Mahowald, N., Ung, C., Thompson, D. (2020). The Earth Surface Mineral Dust Source Investigation: An Earth Science Imaging Spectroscopy Mission. *2020 IEEE Aerospace Conference, Montana, USA.*
- Ito, A., & Wagai, R. (2017). Global distribution of clay-size minerals on land surface for biogeochemical and climatological studies. *Scientific Data*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.103>
- Journet, E., Balkanski, Y., & Harrison, S. P. (2014). A new data set of soil mineralogy for dust-cycle modeling. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(8), 3801–3816. <https://doi.org/10.5194/acp-14-3801-2014>

- Kanakidou, M., Myriokefalitakis, S., & Tsigaridis, K. (2018). Aerosols in atmospheric chemistry and biogeochemical cycles of nutrients. *Environmental Research Letters*, *13*(6), 063004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabcbd>
- Kok, J. F. (2010). A scaling theory for the size distribution of emitted dust aerosols suggests climate models underestimate the size of the global dust cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(3), 1016–1021. <https://doi.org/10.1073/pnas.1014798108>
- Kok, J. F., Adebij, A. A., Albani, S., Balkanski, Y., Checa-Garcia, R., Chin, M., Colarco, P. R., Hamilton, D. S., Huang, Y., Ito, A., Klose, M., Leung, D. M., Li, L., Mahowald, N. M., Miller, R. L., Obiso, V., Pérez García-Pando, C., Rocha-Lima, A., Wan, J. S., & Whicker, C. A. (2021). Improved representation of the global dust cycle using observational constraints on dust properties and abundance. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *21*(10), 8127–8167. <https://doi.org/10.5194/acp-21-8127-2021>
- Kok, J. F., Mahowald, N. M., Fratini, G., Gillies, J. A., Ishizuka, M., Leys, J. F., Mikami, M., Park, M. S., Park, S. U., Van Pelt, R. S., & Zobeck, T. M. (2014). An improved dust emission model – Part 1: Model description and comparison against measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *14*(23), 13023–13041. <https://doi.org/10.5194/acp-14-13023-2014>
- Kok, J. F., Parteli, E. J. R., Michaels, T. I., & Karam, D. B. (2012). The physics of wind-blown sand and dust. *Reports on Progress in Physics*, *75*(10), 106901. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/75/10/106901>

- Kok, J. F., Ward, D. S., Mahowald, N. M., & Evan, A. T. (2018). Global and regional importance of the direct dust-climate feedback. *Nature Communications*, 9(1).
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-02620-y>
- Kun, F., & Herrmann, H. J. (1999). Transition from damage to fragmentation in collision of solids. *Physical Review E*, 59(3), 2623–2632.
<https://doi.org/10.1103/physreve.59.2623>
- Laskin, A. (2005). Heterogeneous chemistry of individual mineral dust particles with nitric acid: A combined CCSEM/EDX, ESEM, and ICP-MS study. *Journal of Geophysical Research*, 110(D10). <https://doi.org/10.1029/2004jd005206>
- Livingstone, I., & Warren, A. (2019). *Aeolian Geomorphology: A New Introduction (English Edition)* (1.^a ed.). Wiley-Blackwell.
- Luo, C. (2003). Sensitivity study of meteorological parameters on mineral aerosol mobilization, transport, and distribution. *Journal of Geophysical Research*, 108(D15). <https://doi.org/10.1029/2003jd003483>
- Mahowald, N. M., & Luo, C. (2003). A less dusty future? *Geophysical Research Letters*, 30(17), n/a. <https://doi.org/10.1029/2003gl017880>
- Marticorena, B., & Bergametti, G. (1995). Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. *Journal of Geophysical Research*, 100(D8), 16415. <https://doi.org/10.1029/95jd00690>
- Klose, M. et al. : Mineral dust cycle in the Multiscale Online Nonhydrostatic Atmosphere Chemistry model (MONARCH), in preparation, 2021.

- Martinez-Garcia, A., Sigman, D. M., Ren, H., Anderson, R. F., Straub, M., Hodell, D. A., Jaccard, S. L., Eglinton, T. I., & Haug, G. H. (2014). Iron Fertilization of the Subantarctic Ocean During the Last Ice Age. *Science*, *343*(6177), 1347–1350. <https://doi.org/10.1126/science.1246848>
- Meng, Z., & Lu, B. (2007). Dust events as a risk factor for daily hospitalization for respiratory and cardiovascular diseases in Minqin, China. *Atmospheric Environment*, *41*(33), 7048–7058. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.05.006>
- Nickovic, S., Vukovic, A., Vujadinovic, M., Djurdjevic, V., & Pejanovic, G. (2012). Technical Note: High-resolution mineralogical database of dust-productive soils for atmospheric dust modeling. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *12*(2), 845–855. <https://doi.org/10.5194/acp-12-845-2012>
- NRCS Soil Survey Staff: U.S. General Soil Map (STATSGO), Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, <http://sdmdataaccess.nrcs.usda.gov/> (2012)
- Pérez, C., Haustein, K., Janjic, Z., Jorba, O., Huneus, N., Baldasano, J. M., Black, T., Basart, S., Nickovic, S., Miller, R. L., Perlwitz, J. P., Schulz, M., & Thomson, M. (2011). Atmospheric dust modeling from meso to global scales with the online NMMB/BSC-Dust model – Part 1: Model description, annual simulations and evaluation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *11*(24), 13001–13027. <https://doi.org/10.5194/acp-11-13001-2011>
- Perlwitz, J. P., Pérez García-Pando, C., & Miller, R. L. (2015). Predicting the mineral composition of dust aerosols – Part 1: Representing key processes. *Atmospheric*

Chemistry and Physics, 15(20), 11593–11627. <https://doi.org/10.5194/acp-15-11593-2015>

Querol, X., Tobías, A., Pérez, N., Karanasiou, A., Amato, F., Stafoggia, M., Pérez García-Pando, C., Ginoux, P., Forastiere, F., Gumy, S., Mudu, P., & Alastuey, A. (2019). Monitoring the impact of desert dust outbreaks for air quality for health studies. *Environment International*, 130, 104867. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.061>

Rizzolo, J., Barbosa, C., Borillo, G. et al. (2016). Mineral nutrients in Saharan dust and their potential impact on Amazon rainforest ecology. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 1-43. <https://doi.org/10.5194/acp-2016-557>.

Shao, Y. (2004). Simplification of a dust emission scheme and comparison with data. *Journal of Geophysical Research*, 109(D10). <https://doi.org/10.1029/2003jd004372>

Sullivan, R. C., Guazzotti, S. A., Sodeman, D. A., & Prather, K. A. (2007). Direct observations of the atmospheric processing of Asian mineral dust. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7(5), 1213–1236. <https://doi.org/10.5194/acp-7-1213-2007>

Tang, G., Zhang, J., Zhu, X., Song, T., Münkel, C., Hu, B., Schäfer, K., Liu, Z., Zhang, J., Wang, L., Xin, J., Suppan, P., & Wang, Y. (2016). Mixing layer height and its implications for air pollution over Beijing, China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(4), 2459–2475. <https://doi.org/10.5194/acp-16-2459-2016>

Tegen, I., Harrison, S. P., Kohfeld, K., Prentice, I. C., Coe, M., & Heimann, M. (2002).

Impact of vegetation and preferential source areas on global dust aerosol: Results from a model study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *107*(D21), AAC 14–1. <https://doi.org/10.1029/2001jd000963>

Tegen, I., Werner, M., Harrison, S. P., & Kohfeld, K. E. (2004). Relative importance of

climate and land use in determining present and future global soil dust emission. *Geophysical Research Letters*, *31*(5), n/a.

<https://doi.org/10.1029/2003gl019216>

Teller, A., Xue, L., & Levin, Z. (2012). The effects of mineral dust particles, aerosol

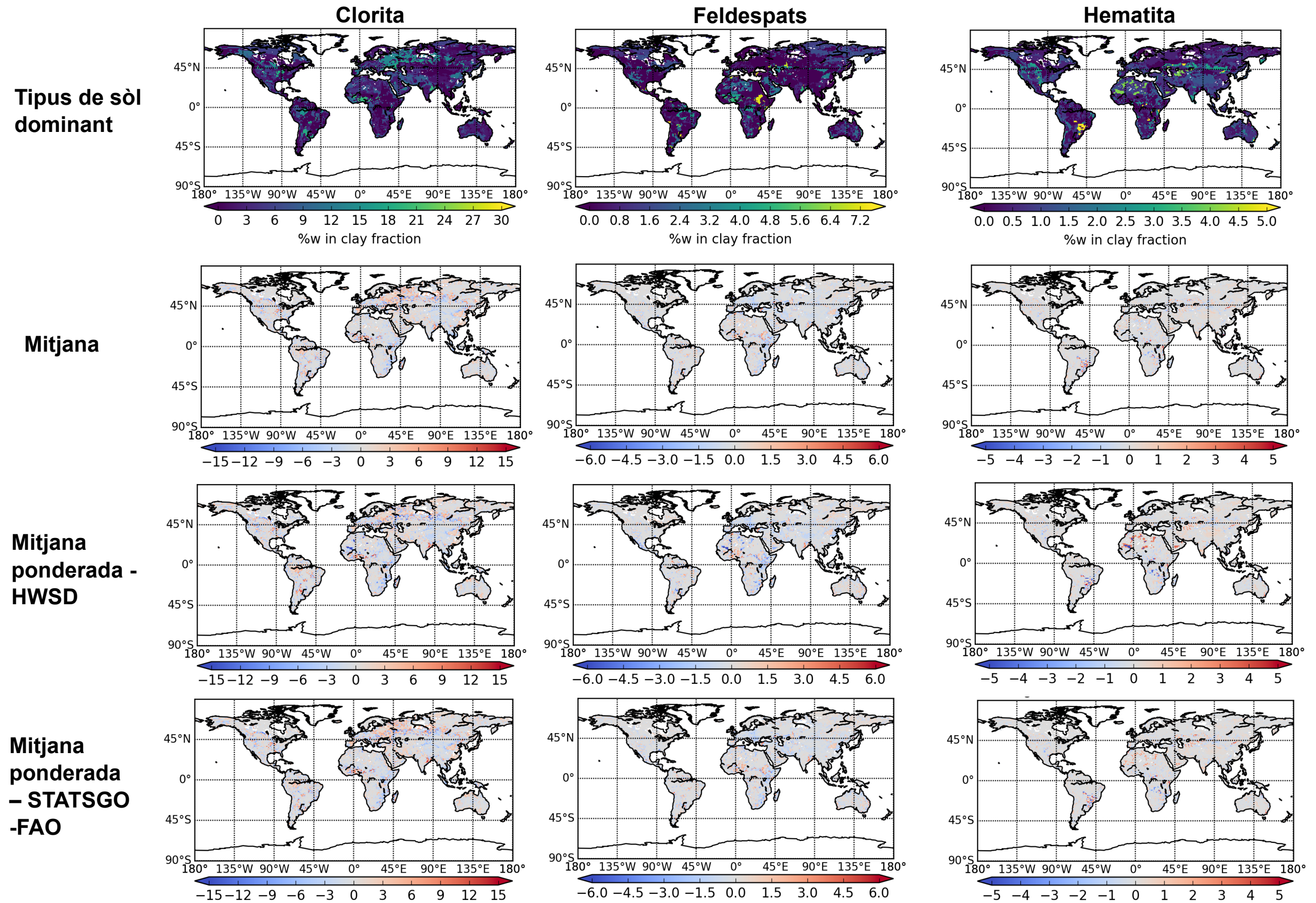
regeneration and ice nucleation parameterizations on clouds and precipitation.

Atmospheric Chemistry and Physics, *12*(19), 9303–9320.

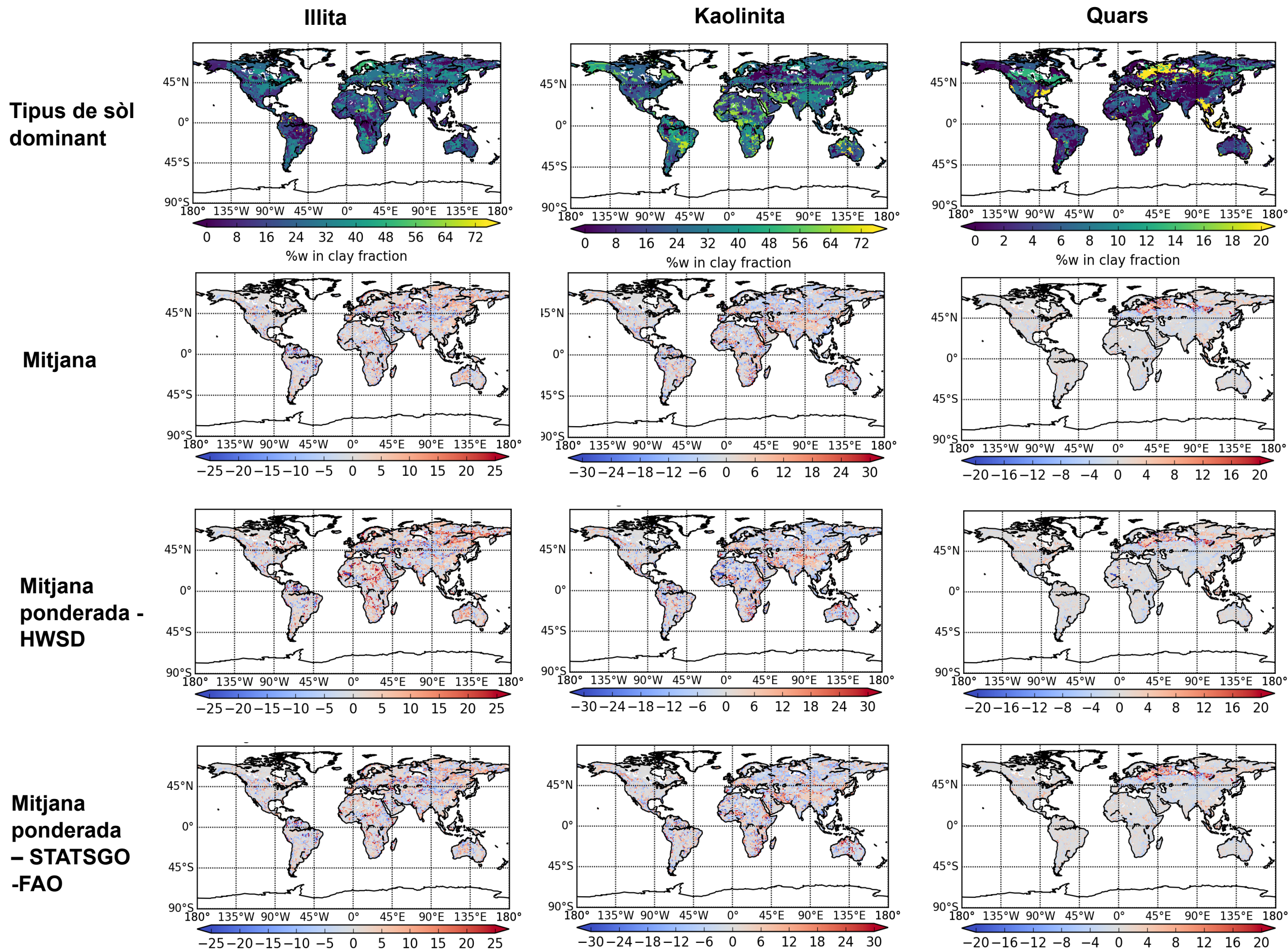
<https://doi.org/10.5194/acp-12-9303-2012>

Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The*

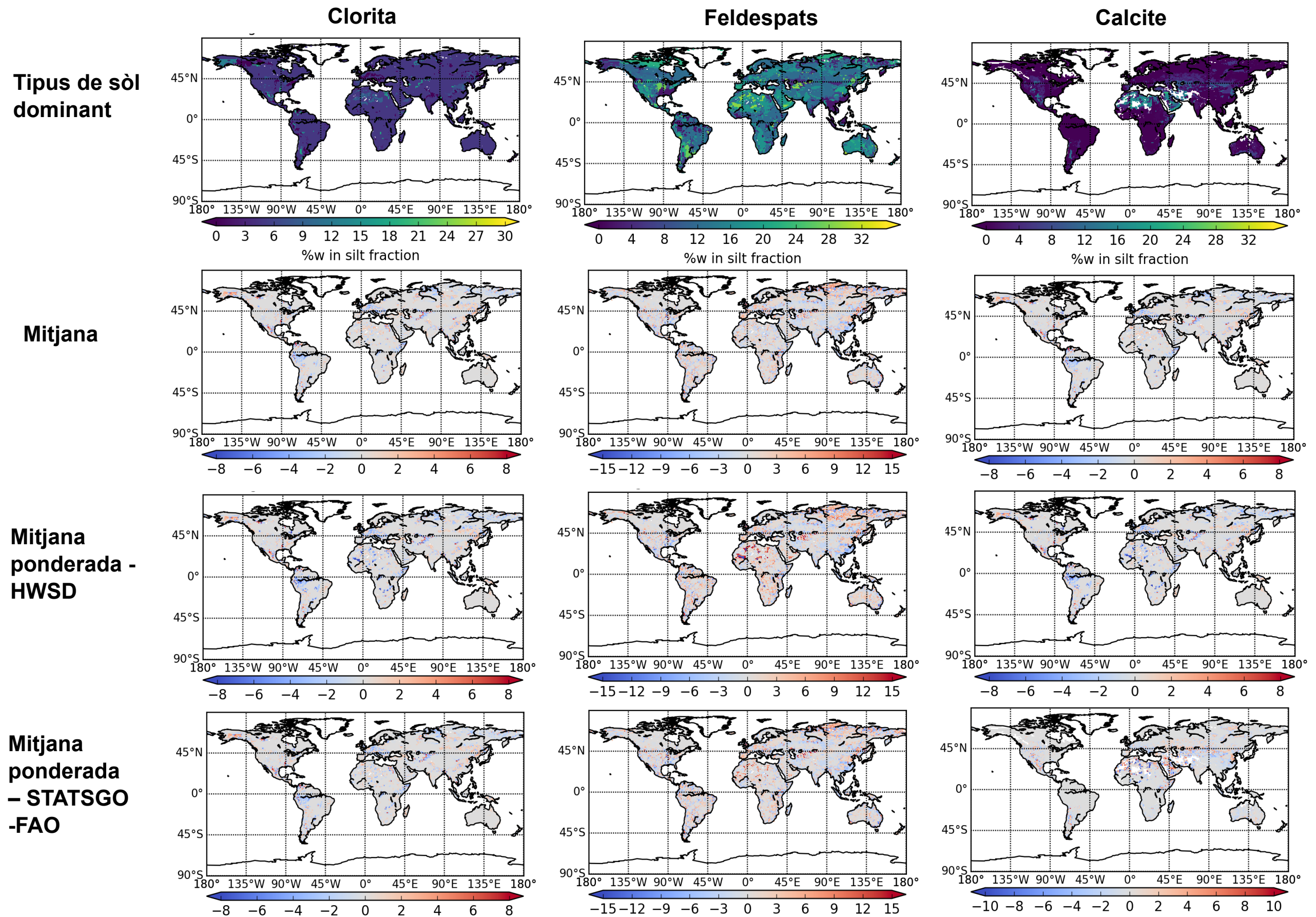
Journal of Geology, *30*, 377–392., <https://doi.org/10.1086/622910>.



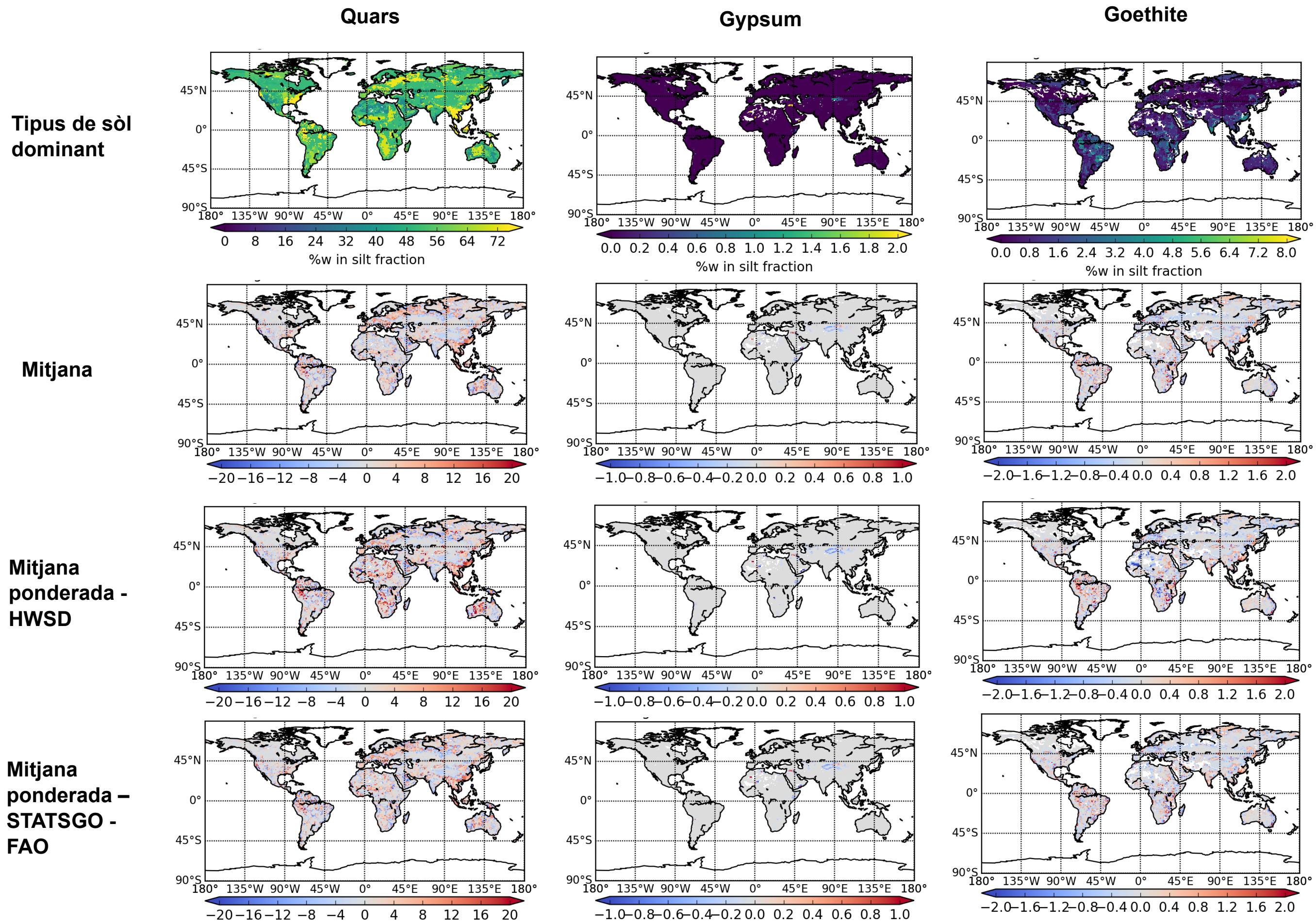
Gràfic 10. Comparació de la diferència absoluta de tres minerals del mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb el mètode de la mitjana, la mitjana ponderada amb el HWSD i la mitjana ponderada amb el STATSGO-FAO en la fracció d'argila



Gràfic 10. Comparació de la diferència absoluta de tres minerals del mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb el mètode de la mitjana, la mitjana ponderada amb el HWSD i la mitjana ponderada amb el STATSGO-FAO en la fracció d'argila



Gràfic 11. Comparació de la diferència absoluta de tres minerals del mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb el mètode de la mitjana, la mitjana ponderada amb el HWSD i la mitjana ponderada amb el STATSGO-FAO en la fracció de llims.



Gràfic 11. Comparació de la diferència absoluta de tres minerals del mètode d'agregació del tipus de sòl dominant amb el mètode de la mitjana, la mitjana ponderada amb el HWS i la mitjana ponderada amb el STATSGO-FAO en la fracció de llims.