

ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ Paulo Artaxo ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΗ ΤΟΝ ΜΑΙΟ ΤΟΥ 2020 ΦΥΣΙΚΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΟΥ ΣΑΟ ΠΑΟΛΟ, ΕΝΑΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΚΟΡΥΦΑΙΟΥΣ ΦΥΣΙΚΟΥΣ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΑΥΤΟΥ, ΟΛΟ ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΤΟΥ ΕΡΓΟ

<https://scholar.google.com/citations?user=uC8sffYAAAAJ&hl=el&oi=ao> , ΠΗΓΗ ΕΡΕΥΝΑΣ
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2020.00045/full>

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΧΑΛΑΖΙΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΟΛΥΕΤΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΕ ΜΙΑ ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΚΑΤΑΙΓΙΔΟΦΟΡΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΡΓΕΝΤΙΝΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η συνολική αξιολόγηση των διαθέσιμων επιστημονικών στοιχείων σχετικά με τις δραστηριότητες καταστολής του χαλαζιού στην επαρχία Μεντόζα της Αργεντινής. Επικεντρωθήκαμε εδώ μόνο σε δημοσιευμένα άρθρα, κεφάλαια βιβλίων και ανασκοπήσεις που ποσοτικοποιούν στατιστικά την αποτελεσματικότητα των διαφόρων τεχνικών σποράς νεφών στην ανάπτυξη χαλαζιού στην περιοχή. Συνδέσαμε τα αποτελέσματα αυτά με τις αναφερόμενες αλλαγές στη συχνότητα του χαλαζιού πάνω από την περιοχή κατά τα τελευταία 60 χρόνια. Συγκρίνοντας αυτά τα ευρήματα με τις διαθέσιμες πληροφορίες από άλλες περιοχές του κόσμου, εντοπίσαμε διάφορες κατευθύνσεις έρευνας που μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των υφιστάμενων αβεβαιοτήτων και κενών γνώσης όσον αφορά την κατανόηση της δυναμικής των σοβαρών συστημάτων συναγωγής (ανοδικές ατμοσφαιρικές κινήσεις) που δημιουργούν χαλάζι. Έτσι, τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης μπορούν να δώσουν νέες κατευθύνσεις για τις δραστηριότητες τροποποίησης του καιρού πάνω από την κεντροδυτική Αργεντινή.

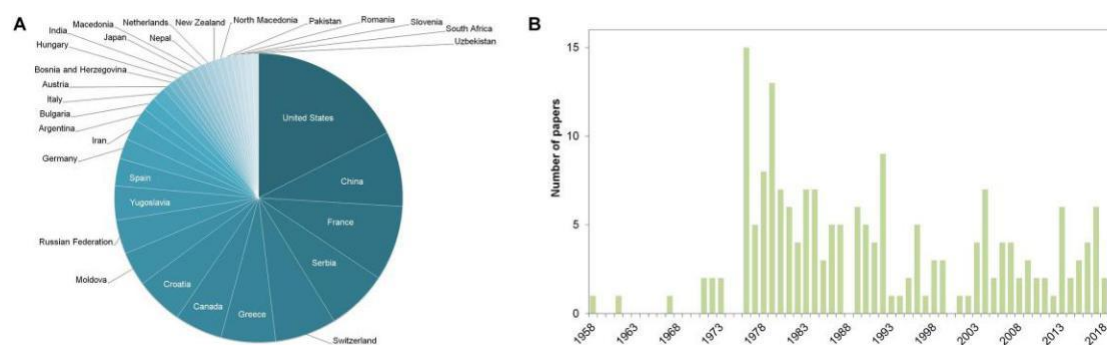
Το πρώτο πρόγραμμα καταστολής του χαλαζιού ξεκίνησε το 1959, με επικεφαλής το Πανεπιστήμιο του Μπουένος Άιρες, την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία της Αργεντινής και το Ινστιτούτο Γεωργικών Ασφαλίσεων της Μεντόζα (Grandoso and Iribarne, 1963). Το πρόγραμμα βασίστηκε σε τυχαίοποιημένη σπορά με γεννήτριες εδάφους και τα αποτελέσματα μετά από 5 χρόνια πειράματος (1959-1964) δείχνουν ότι οι επιδράσεις της σποράς ήταν μη σημαντικές (Dessens et al., 2016). Μια δεύτερη φάση ξεκίνησε το 1974 με τη δημιουργία των συστημάτων παρατήρησης και την αξιολόγηση των επιπτώσεων του χαλαζιού, ενώ ακολούθησε η κατασκευή εθνικών συστημάτων πυραύλων το 1979 και η εφαρμογή του AgI ως υλικού σποράς το 1982 (Sánchez et al., 1998). Δεν υπάρχουν επιστημονικά στοιχεία για την αξιολόγηση της καταστολής του χαλαζιού κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, αν και λαμβάνοντας υπόψη ότι το πρόγραμμα τερματίστηκε το 1983 λόγω της έλλειψης εμπιστοσύνης στην αποτελεσματικότητα των εθνικών πυραύλων, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα αποτελέσματα ήταν ασαφή. Οι σοβιετικοί πύραυλοι χρησιμοποιήθηκαν κατά την περίοδο 1985-1991, καθοδηγούμενοι από δύο μετεωρολογικά ραντάρ C-band της Weather Modification Inc. (WMI) και δύο μετεωρολογικά ραντάρ S-band της MRL-5, τα οποία εγκαταστάθηκαν στις τρεις

γεωργικές οάσεις της Mendoza για την υποστήριξη των δραστηριοτήτων καταστολής του χαλαζιού (de la Torre et al., 2004). Μετά το 1998, στο έργο ενσωματώθηκαν αεροσκάφη, τα οποία χρησιμοποίησαν δύο τύπους εκρηκτικών (φυσίγγια και φωτοβολίδες) για τη σπορά των νεφών (Mulena et al., 2019). Οι οικονομικές δυσκολίες οδήγησαν σε αλλαγές στον έλεγχο των έργων καταστολής του χαλαζιού, εναλλάσσοντας από τον κυβερνητικό στον ιδιωτικό τομέα από το 1993 έως το 2004 με κάποιες διακοπές. Παρόλο που τα μετεωρολογικά ραντάρ εγκαταστάθηκαν για επιχειρησιακούς σκοπούς, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν χρησιμοποιήθηκαν περιστασιακά για επιστημονική έρευνα (de la Torre et al., 2004, 2011- Makiton, 2007- Makiton et al., 2017). Παρομοίως, δεδομένα μικροφυσικής των νεφών ελήφθησαν μόνο κατά τη διάρκεια βραχυπρόθεσμων πειραμάτων με ένα εξοπλισμένο με όργανα αεροσκάφος (Rosenfeld et al., 2006). Νέα δίκτυα επίγειας σποράς εγκαταστάθηκαν στη Mendoza κατά τη διάρκεια του 2008 για να συμπληρώσουν τη σπορά με αεροσκάφη στους πρόποδες των Άνδεων (Dessens et al., 2016).

ΤΙ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΚΟΣΜΟ

Στο Σχήμα 1Α παρουσιάζεται η κατανομή των χωρών που συμμετέχουν στην έρευνα των δραστηριοτήτων καταστολής του χαλαζιού με βάση τον αριθμό των δημοσιεύσεων από τα ιδρύματά τους. Στο γράφημα αυτό δεν περιλαμβάνονται οι μελέτες από ιδρύματα με ακαθόριστη χώρα. Οι έρευνες που βασίζονται σε δραστηριότητες καταστολής του χαλαζιού σε όλο τον κόσμο ήταν πλούσιες ιδιαίτερα κατά το δεύτερο μισό της δεκαετίας του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (Εικόνα 1B), στο πλαίσιο δύο μεγάλων πειραμάτων στη Δυτική Ευρώπη και στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα οποία έδειξαν στατιστικά μη σημαντικές διαφορές στην εμφάνιση χαλαζιού μεταξύ των χαλαζοφόρων νεφών στα οποία έγινε σπορά και σε αυτά που δεν έγινε (Gavrilov et al., 2013). Πολλές από αυτές τις δραστηριότητες ήταν καθαρά επιχειρησιακές, συχνά χωρίς στέρεη επιστημονική βάση και αιτιολόγηση (δημοσίευση από Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό, 2017), και πολλές ανεπτυγμένες χώρες έχουν εγκαταλείψει αυτή τη δραστηριότητα (Gavrilov et al., 2013). Αυτή η τάση επιβεβαιώνεται από τη φθίνουσα τάση του αριθμού των δημοσιευμένων εργασιών ανά έτος, με μέσο όρο τρεις δημοσιευμένες εργασίες στο θέμα κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών (Εικόνα 1B).

Εικόνα 1α και 1β



O Dessens et al. (2016) ανέφερε ότι η κύρια δυσκολία σε ένα έργο καταστολής του χαλαζιού είναι η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, η οποία επιβεβαιώνεται στην παρούσα μελέτη λόγω της έλλειψης επιστημονικών στοιχείων που προκύπτουν από τη σπορά νεφών στην επαρχία Mendoza. Επιπλέον, δεν είναι εφικτό να διαχωριστεί η φυσική εξέλιξη ενός καταιγιδοφόρου νέφους από τον πιθανό μετασχηματισμό τους ως αποτέλεσμα της σποράς, ούτε να πραγματοποιηθούν τυχαίοποιημένα πειράματα σποράς (Makitov, 1999), παράγοντες που περιπλέκουν την αξιολόγηση των δραστηριοτήτων καταστολής του χαλαζιού στην περιοχή. Ο Makitov (1999) συνέκρινε 11 χρόνια με δραστηριότητες καταστολής του χαλαζιού στη βόρεια περιοχή της Μεντόζα με 13 χρόνια χωρίς χαλαζοπροστασία, διαπιστώνοντας ότι οι ζημιές από το χαλάζι μειώθηκαν κατά 8% λόγω της σποράς των νεφών. Ωστόσο, αυτή και άλλες δημοσιεύσεις όπως οι Sánchez et al. (1998); Krauss et al. (2000) ή οι Krauss και Mir (2002) πρέπει να τεθούν υπό αμφισβήτηση λόγω του δυνητικού συμφέροντος από τους συγγραφείς, δεδομένου ότι αρκετοί από αυτούς συμμετείχαν σε δραστηριότητες ιδιωτικών εταιρειών δημιουργίας νεφώσεων, όπως η WMI ή η Antigrad Latinoamericana. Επιπλέον, πρέπει να επισημάνουμε την ύπαρξη επιστημονικά αβάσιμων ετήσιων εκθέσεων που δημοσιεύονται τόσο από ιδιωτικές εταιρείες όσο και από την κυβέρνηση της Mendoza, οι οποίες απλώς περιγράφουν στατιστικές πτήσεις και καταιγίδων και είναι υπερβολικά αισιόδοξες για τη μείωση του χαλαζιού στην περιοχή.

Τα αποτελέσματα που περιγράφονται στις ετήσιες εκθέσεις και στην επιστημονική βιβλιογραφία είναι πιθανό να επηρεαστούν όχι μόνο από τις δραστηριότητες καταστολής του χαλαζιού αλλά και από τη μεταβλητότητα του κλίματος σε χρονικές κλίμακες μεταξύ των ετών και μεταξύ των δεκαετιών. Για παράδειγμα, οι τάσεις στη συχνότητα του χαλαζιού είναι αυξητικές κατά τον 20ο αιώνα (Prieto et al., 2001) και όχι τόσο σημαντικά αυξητικές από τη δεκαετία του 1960 (Mezher et al., 2012), αν και διαμορφώνονται από περιοδικότητες 4, 8 και 22 ετών. Έτσι, οι αναφερόμενες αυξήσεις στη συχνότητα χαλαζόπτωσης στην επαρχία Μεντόζα – ακόμα και όταν δεν είναι σημαντικές – είναι αντίθετες με ό,τι αναμένεται από τις δραστηριότητες καταστολής του χαλαζιού, ενώ δεν υπάρχουν στοιχεία για μακροπρόθεσμες αλλαγές στο μέγεθος του χαλαζιού.

Εάν οι επιστήμονες στοχεύουν να διακρίνουν την αποτελεσματικότητα των δραστηριοτήτων καταστολής του χαλαζιού στην περιοχή, θα ήταν επιθυμητό να διαχωριστούν τα φυσικά και τα ανθρωπογενή σήματα από τη χρονική διακύμανση της συχνότητας ή του μεγέθους του χαλαζιού. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την κεντροδυτική Αργεντινή, όπου εντοπίστηκαν μακροπρόθεσμες σημαντικές αυξητικές τάσεις στη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία (Barros et al., 2015) και η διαχρονική μεταβλητότητα των βροχοπτώσεων αποδόθηκε σε μεγάλο βαθμό στην ταλάντωση El Niño-Southern (Penalba και Rivera, 2016). Οι Prieto et al. (1999, 2001) συνέδεσε την τάση της παγκόσμιας θερμοκρασίας με τις τάσεις στα περιστατικά χαλαζοπτώσεων

στη Μεντόζα. Αυτό προτάθηκε επίσης σε περιφερειακή κλίμακα από τους Dejanovic et al. (2019) για τη Βοσνία-Ερζεγοβίνη. Οι Mezher et al. (2012) συσχέτισε τις χαλαζοπτώσεις με χαμηλού επιπέδου θερμές θερμοκρασιακές αποκλίσεις, οι οποίες αναμένεται να είναι πιο συχνές στο μέλλον στην περιοχή λόγω της κλιματικής αλλαγής (Zazulie et al., 2018).

Η ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΤΟ ΘΕΜΑ ΑΥΤΟ

Επί του παρόντος, το πρόγραμμα καταστολής του χαλαζιού χρηματοδοτείται κυρίως από το Υπουργείο Οικονομικών της επαρχίας Mendoza. Η ανεξάρτητη αξιολόγηση των επιχειρησιακών δραστηριοτήτων σποράς νεφών απαιτείται βάσει του επαρχιακού νόμου αριθ. 7334, έργο που πρέπει να εκτελείται από το Εθνικό Πανεπιστήμιο του Cuyo κάθε 30 ημέρες. Εξ όσων γνωρίζουμε, οι αξιολογήσεις αυτές δεν είναι διαθέσιμες στο κοινό, γεγονός που επηρεάζει την αξιοπιστία του προγράμματος. Η ερευνητική κοινότητα της ατμοσφαιρικής επιστήμης, η οποία έχει την ευθύνη για τη βασική έρευνα και ανάπτυξη, δεν συμμετέχει επί του παρόντος στη δημιουργία των ετήσιων εκθέσεων ούτε στην ανεξάρτητη αξιολόγηση του προγράμματος καταστολής του χαλαζιού. Λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανές κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων σποράς νεφών, ιδίως στις περιοχές με χαμηλό άνεμο, αναρωτιόμαστε αν η Γενική Γραμματεία Περιβάλλοντος δεν θα έπρεπε να κατέχει έναν πιο σχετικό ρόλο ως αρχή ελέγχου. Τα παραδείγματα αυτά υπογραμμίζουν την ανάγκη για μια βελτιωμένη διασύνδεση επιστήμης-πολιτικής, ένα θέμα που διερευνήθηκε εκτενώς πριν από 40 χρόνια στις Ηνωμένες Πολιτείες (Haas, 1973- Borland, 1977- Changnon et al., 1977) και έδειξε πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα πιο πρόσφατα σε χώρες όπως η Σερβία (Gavrilov et al., 2013). Διάφορες ομάδες συμφερόντων και ενδιαφερόμενοι που εμπλέκονται στις δραστηριότητες καταστολής του χαλαζιού, όπως η επιστημονική επιτροπή του, οι εμπορικές εταιρείες τροποποίησης του καιρού και οι αγροτικές οργανώσεις, μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στις πολιτικές αποφάσεις σχετικά με τη συνέχεια του προγράμματος καταστολής του χαλαζιού.

Εντοπίσαμε διάφορες κατευθύνσεις έρευνας που χρήζουν εξέτασης για τη βελτίωση των γνώσεων σχετικά με τη σοβαρή συναγωγή (convection – ανοδικές ατμοσφαιρικές κινήσεις) πάνω από την περιοχή. Οι υδρατμοί είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη σοβαρής συναγωγής και χαλαζόπτωσης (Li et al., 2019). Παρόλα αυτά, η μεταβλητή αυτή έχει ανεπαρκή δειγματοληψία πάνω από την περιοχή μελέτης, με μία μέτρηση ραδιοβόλησης ανά ημέρα. Τα δεδομένα του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης (GNSS) έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση των υδρατμών τόσο σε παγκόσμια όσο και σε περιφερειακή κλίμακα και μπορούν να είναι χρήσιμα τόσο για την πρόβλεψη ακραίων βροχοπτώσεων όσο και για την πρόβλεψη χαλαζιού (Calori et al., 2016; Camisay et al., 2020). Οι μελέτες μοντελοποίησης είναι μακράν ο πιο καθοριστικός παράγοντας για την υποστήριξη των δραστηριοτήτων καταστολής του χαλαζιού.

Πρόσφατες μελέτες αξιοποίησαν τις τρέχουσες υπολογιστικές δυνατότητες για την παροχή ενός θεωρητικού πλαισίου για την τροποποίηση του καιρού, με μελέτες ευαισθησίας που αξιολογούν τη διαλυτότητα των φυσικών αερολυμάτων (Κοναčević, 2019)- την επίδραση της συγκέντρωσης των σταγονιδίων των νεφών στην αποτελεσματικότητα της καταστολής του χαλαζιού (Κοναčević and Ćurić, 2014) ή την επίδραση διαφορετικών παραγόντων σποράς νεφών (Najafi et al., 2015). Οι κύριοι περιορισμοί αυτών των μελετών είναι το μεγάλο υπολογιστικό κόστος της μοντελοποίησης των γεγονότων χαλαζιού λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές παραμετροποιήσεις της φυσικής του όγκου των νεφών και η έλλειψη παρατηρήσεων για την επικύρωση του μοντέλου. Η γνώση της φυσικής εξέλιξης των παγοκρυστάλλων εντός των χαλαζοκαταιγίδων είναι ακόμη υποτυπώδης, ενώ ο χρόνος και η θέση των υλικών σποράς παραμένουν υπό συζήτηση (Knight et al., 2015). Λαμβάνοντας υπόψη τη χρονική επέκταση των δραστηριοτήτων καταστολής του χαλαζιού πάνω από τη Mendoza, μπορεί να αναμένεται μεγάλη ποσότητα υλικών σποράς στο επίπεδο του εδάφους κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης. Ο παράγοντας αυτός μπορεί να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στο ανθρώπινο περιβάλλον, εάν η σπορά νεφών συνεχιστεί στο μέλλον (Ćurić and Janc, 2014) και πρέπει να αξιολογηθεί κατάλληλα.

Όπως προσδιορίστηκε στην ενότητα «Τρέχουσες τάσεις και περιορισμοί», η συχνότητα εμφάνισης χαλαζιού στην περιοχή διαμορφώνεται από περιοδικότητες που συνδέονται με παράγοντες όπως η El Niño - Νότια Ταλάντωση και η μακροπρόθεσμη υπερθέρμανση του πλανήτη. Απαιτείται η κατάλληλη απομόνωση της επίδρασης των δραστηριοτήτων καταστολής του χαλαζιού από αυτές τις φυσικές και ανθρωπογενείς συνιστώσες για να εξασφαλιστεί μια εφικτή αξιολόγηση των αλλαγών στη συχνότητα και το μέγεθος του χαλαζιού ως αποτέλεσμα της σποράς νεφών. Από το 2004, η κυβέρνηση της Mendoza έχει υιοθετήσει ένα σύστημα παθητικής προστασίας που βασίζεται σε αντιχαλαζικά δίκτυα και ασφάλιση κατά του χαλαζιού. Δεν υπάρχουν αποδείξεις για το ρόλο αυτών των παθητικών συστημάτων στη μείωση των ζημιών από το χαλάζι, ούτε αν τα αποτελέσματά τους λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ενεργητικών συστημάτων καταστολής του χαλαζιού. Αυτός ο παράγοντας μπορεί ενδεχομένως να συμβάλει στην ύπαρξη μεροληψίας στις ετήσιες εκθέσεις που χρησιμοποιεί το Υπουργείο Οικονομίας για να δικαιολογήσει στους τοπικούς αγρότες την επιτυχία τους στη μείωση της χαλαζόπτωσης. Ως σημείο εκκίνησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μελέτη των Gandorfer κ.ά. (2016), η οποία παρείχε στοιχεία για την αξιολόγηση των αντιχαλαζικών δικτύων και της ασφάλισης κατά του χαλαζιού με βάση ένα εμπειρικό μοντέλο κινδύνου για τη Γερμανία. Όσον αφορά τις πληροφορίες από ραντάρ, είναι δυνατή η επικαιροποίηση της υπάρχουσας τεχνολογίας λόγω της ανάπτυξης του πρώτου μετεωρολογικού ραντάρ της Αργεντινής (Radar Meteorológico Argentino - RMA1). Το RMA1 είναι ένα ραντάρ Doppler διπλής πόλωσης C-band που μπορεί να χρησιμοποιήσει ανοιχτό κώδικα όπως το Python

ARM Radar Toolkit (Py-ART, Helmus and Collis, 2016) για να παρέχει πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος, το σχήμα και την πυκνότητα του υλικού των σωματιδίων των νεφών και των κατακρημνισμάτων (Paulitsch et al., 2009). Ο καθορισμός του πότε και πού θα μπορούσαν να εγκατασταθούν αυτά τα ραντάρ σχετίζεται περισσότερο με την πολιτική βούληση παρά με την επιστημονική συναίνεση, ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να διεκδικήσει ένα βελτιωμένο διάυλο επικοινωνίας επιστήμης-πολιτικής.

ΣΥΝΟΨΗ

Η επαρχία Μεντόζα είναι η περιοχή όπου διεξάγονται σήμερα οι μακροβιότερες δραστηριότητες καταστολής του χαλαζιού στη Νότια Αμερική, μετά από σχεδόν 60 χρόνια σποράς νεφών με χρήση επίγειων γεννητριών, πυραύλων και αεροσκαφών. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμένα επιστημονικά στοιχεία που υποστηρίζουν την υπόθεση ότι η σπορά νεφών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του μεγέθους και της συχνότητας του χαλαζιού.

Οι καταγεγραμμένες τάσεις δείχνουν πριν από 20 και πλέον χρόνια, ο Matthewman (1998) περιέγραψε το σενάριο της Νότιας Αφρικής με όρους τροποποίησης του καιρού, όπου η κοινωνική δράση διαμορφωνόταν από ένα σύνολο οικονομικών ζητημάτων, πολιτικών διαμορφώσεων και σχέσεων εξουσίας. Η ίδια ακριβώς περιγραφή μπορεί να εφαρμοστεί στην επαρχία Mendoza, όπου οι κτηνοτρόφοι και άλλοι γεωργικοί φορείς ανησυχούν όλο και περισσότερο για τις δραστηριότητες καταστολής του χαλαζιού πάνω από την περιοχή. Όπως αναφέρεται στην αξιολόγηση του Hitchensfeld (1973) θα πρέπει να υπάρξει συμφωνία μεταξύ επιστημόνων, πολιτικών, δημοσίων υπαλλήλων και τοπικών αγροτών για να σταματήσει η σπορά ρουτίνας. Η βελτίωση της γνώσης της μικροφυσικής των νεφών και των μηχανισμών που ευνοούν την ανάπτυξη σοβαρών συστημάτων συναγωγής θα επιτρέψει την πρόβλεψη αυτών των φαινομένων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί τόσο με την αύξηση των παρατηρήσεων (με βάση μετρήσεις με ραδιοβολήσεις, ραντάρ, αεροσκάφη, χαλάζι, δισκομετρητές και βροχογράφους) όσο και με τη χρήση μοντέλων επίλυσης νεφών, με διάφορα σύνολα σχημάτων παραμετροποίησης της μικροφυσικής του όγκου, των παραγόντων σποράς και των διαδικασιών βροχόπτωσης.

Το αν θα παραμείνουν ή όχι τα διαπιστωμένα κενά στη γνώση εξαρτάται κυρίως από τη συναίνεση τόσο του επιστημονικού όσο και του πολιτικού τομέα, δεδομένου ότι μέρος της χρηματοδότησης των δραστηριοτήτων καταστολής του χαλαζιού θα πρέπει να αναδιαρθρωθεί για να υποστηριχθούν ορισμένοι από τους προτεινόμενους άξονες έρευνας. Τέλος, θέλουμε να επισημάνουμε ότι αυτή η περιφερειακή αξιολόγηση μπορεί να επαναληφθεί και σε άλλες περιοχές του κόσμου, ώστε να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης της σποράς νεφών και των επιπτώσεών της στα χαρακτηριστικά του χαλαζιού.