



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ε. ΤΕΡΖΗΣ

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ EL NINO ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ε. ΤΕΡΖΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5476

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ EL NINO ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας,
Εργαστήριο Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπων

Μπαμπζέλης Δημήτριος
Ε.ΔΙ.Π Α.Π.Θ.

© Κωνσταντίνος Ε. Τερζής, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ EL NINO ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ – Διπλωματική Εργασία

© Konstantinos E. Terzis, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology, 2020
All rights reserved.
THE EL NINO PHENOMENON AND ITS WORLDWIDE EFFECTS – Bachelor Thesis



Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Πρόλογος	6
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	9
Κεφάλαιο 2: Η Νότια Κύμανση και τα χαρακτηριστικά της.....	12
2.1. Ανασκόπηση του φαινομένου και σύγχρονες απόψεις.....	12
2.2. Κανονική κυκλοφορία και κυκλοφορία ENSO	15
2.3. Τα επεισόδια El Nino και La Nina.....	17
2.3.1. CP και EP El Nino	20
2.4. Τηλεσυνδέσεις	21
2.5. Ο Δείκτης της Νότιας Κύμανσης (SO)	24
2.5.1. Επιπλέον δείκτες και κατηγοριοποίηση του El Nino.....	25
Κεφάλαιο 3: Επιδράσεις του φαινομένου της Νότιας Κύμανσης	28
3.1. Επιδράσεις των επεισοδίων στον τροπικό Ειρηνικό.....	28
3.2. Η επίδραση του ENSO σε παγκόσμια κλίμακα	37
3.2.1. El Nino και φυσικές καταστροφές.....	37
3.2.2. Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα	39
3.2.3. Επίδραση των φαινομένων στην υγεία	41
3.3. Η μεταβολή του ENSO στην Ευρώπη	44
Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα	47
Βιβλιογραφία.....	50

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης βιβλιογραφικής ανασκόπησης, μου δόθηκε η ευκαιρία να μελετήσω το πολυσχιδές φαινόμενο El Nino, το οποίο λαμβάνει χώρα στην περιοχή του τροπικού Ειρηνικού Ωκεανού επιδρώντας, ταυτόχρονα, αφενός σε ατομικό και αφετέρου σε συλλογικό επίπεδο στην υγεία και στην οικονομία, τόσο στις περιοχές άμεσης εκδήλωσης του φαινομένου όσο και σε περιοχές που ουδεμία συσχέτιση έχουν με αυτό.

Ο σκοπός αυτής της μελέτης αφορά την εις βάθος κατανόηση του παραπάνω φαινομένου, τη μελέτη των βασικών αρχών που το διέπει καθώς και τη συστηματική καταγραφή των επιπτώσεων που επιφέρει σε παγκόσμια κλίμακα, υπογραμμίζοντας την ένταση, τη διάρκεια και την επικινδυνότητα των επεισοδίων El Nino και La Nina. Σύμφωνα με τη σύγχρονη διεθνή και εγχώρια βιβλιογραφία, η επιστήμη της Μετεωρολογίας εστιάζει στην κατανόηση της επιρροής των παραπάνω επεισοδίων στον πρωτογενή και δευτερογενή τομέα της οικονομίας αξιοποιώντας κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων κ. Μπαμπζέλη Δημήτριο, Ε.ΔΙ.Π. Α.Π.Θ., για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για να με καθοδηγήσει στην εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής διατριβής και για το ενδιαφέρον που επέδειξε ώστε να ολοκληρωθεί με το ιδανικότερο αποτέλεσμα.

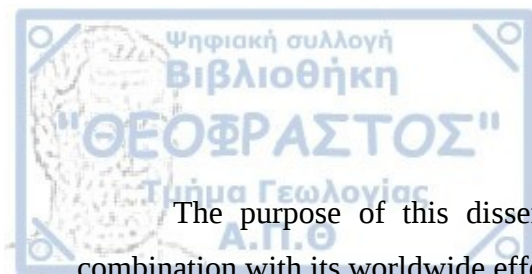
Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τους φίλους μου για την αμέριστη στήριξη και υπομονή κατά την διάρκεια της συγγραφής αλλά και γενικότερα της συνολικής μου προπτυχιακής πορείας σπουδών. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον φίλο μου Τασιούλη Κωνσταντίνο που με τις γνώσεις και κυρίως με τη διάθεση του για υποστήριξη σε οποιοδήποτε εμπόδιο, συνέβαλε αμέριστα στην πρόοδό μου όλα αυτά τα έτη.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους καθηγητές του τμήματος Γεωλογίας και φυσικά στους συμφοιτητές μου, αρκετοί από τους οποίους υπήρξαν παράδειγμα για την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη του φαινομένου El Nino και των χαρακτηριστικών του σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις του σε ολόκληρο τον πλανήτη.

Αρχικά, γίνεται εκτενής αναφορά του φαινομένου και ανασκόπηση της πορείας του τον τελευταίο αιώνα, φτάνοντας σε πρόσφατες μελέτες που βασίστηκαν σε δεδομένα των τελευταίων δεκαετιών. Αναλυτικότερα, περιγράφεται το φαινόμενο ENSO και οι διακλαδώσεις των επεισοδίων του, El Nino και La Nina, καθώς και η κατηγοριοποίηση του με τη συνεισφορά δεικτών μελέτης του. Στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζονται, επίσης, οι τηλεσυνδέσεις του ENSO, οι οποίες αποτελούν ισχυρό παράγοντα για τις επιπτώσεις του σε παγκόσμια κλίμακα.

Στο επόμενο κεφάλαιο, σχολιάζονται οι επιδράσεις των επεισοδίων του ENSO με αφετηρία τον πυρήνα δράσης του φαινομένου και ,ακολουθώς, με τις επιπτώσεις του σε κοινωνικοπολιτικούς και βιοποριστικούς τομείς σε διάφορα μέρη του πλανήτη. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται η επίδραση του El Nino στην περιοχή του τροπικού Ειρηνικού Ωκεανού και εν συνεχεία επεκτείνεται η μελέτη παγκοσμίως με αναφορές σε φυσικές καταστροφές, επιπτώσεις σε χερσαία και θαλάσσια οικοσυστήματα και κυρίως με τις επιπτώσεις του φαινομένου στον τομέα της υγείας.



ABSTRACT

The purpose of this dissertation is to study the complex phenomenon of El Nino in combination with its worldwide effects.

Initially, the phenomenon is discussed in detail with the aid of reviews of the last century. Furthermore, the analysis continues with recent studies based on data from the past decades. Subsequently, the ENSO phenomenon and its episodes, El Nino and La Nina, are deeply described. The same chapter also delineates ENSO teleconnections, which constitute a main factor in its global impact.

The next chapter focuses on the effects of the ENSO episodes, starting from the core of the phenomenon action and then with its effects on socio-political and livelihood sectors in several parts of the planet. More specifically, the impact of El Nino in the tropical Pacific is presented and then the review is extended with references to natural disasters and impacts on terrestrial and marine ecosystems. The study finally comes to a conclusion mentioning the consequences of El Nino on health.

Ακόμα και στη σημερινή, τεχνολογικά προηγμένη εποχή, του 21^{ου} αιώνα, η υφήλιος μαστίζεται από τις σημαντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και των μετεωρολογικών φαινομένων, που έχουν αντίκτυπο σε κάθε φάσμα της ανθρώπινης, και όχι μόνο, δραστηριότητας. Ορισμένες περιοχές πλήττονται συχνότερα από ακραία καιρικά φαινόμενα και βροχοπτώσεις, ενώ άλλες δοκιμάζονται από μεγάλης έντασης καύσωνες και ξηρασίες.

Πιο συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται τήξη των πάγων και άνοδος της στάθμης των θαλασσών. Ταυτόχρονα η υπερθέρμανση του πλανήτη επιφέρει την κατάρρευση όγκων πάγου στους δύο πόλους και την τήξη των παγετώνων. Εξαιτίας των αλλαγών αυτών, ανεβαίνει η στάθμη των θαλασσών με αποτέλεσμα να προκαλούνται πλημμύρες και διάβρωση στις ακτές και τις πεδινές παράκτιες περιοχές. Μολονότι η συχνότητα εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων είναι αυξημένη, νεότερα επιστημονικά δεδομένα υπογραμμίζουν τη μετατόπιση των βροχοπτώσεων επιφέροντας σοβαρά προβλήματα, όπως π.χ. πλημμύρες και υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, καθώς και περιορισμό των υδάτινων πόρων σε ορισμένες περιοχές.

Στην αύξηση του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης των κατακρημνισμάτων συμβάλλει κατά ένα μέρος και το φαινόμενο El Nino, για το οποίο θα γίνει εκτενής αναφορά στη συνέχεια. Οι περιοχές που πλήττονται κυρίως είναι αυτές της Νότιας Αμερικής. Σε περιόδους ακραίων εκδηλώσεων του φαινομένου παρατηρούνται θερμές και υγρές συνθήκες με αποτέλεσμα πολλά πλημμυρικά επεισόδια να γίνονται αισθητά. Αντίθετα, σε περιοχές κοντά στον Αμαζόνιο, επικρατεί πιο ξηρό και θερμό κλίμα. Οι επιπτώσεις του φαινομένου, πέρα από την περιοχή της Νότιας Αμερικής, επηρεάζουν και περιοχές που βρίσκονται απ' την άλλη μεριά του Ατλαντικού.

Οι παραπάνω μεταβολές φαίνεται να επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό ολόκληρες χώρες, ίσως ακόμα και ηπείρους. Συγκεκριμένα και σε ότι αφορά την Ευρώπη, οι επιστήμονες παρατήρησαν την ύπαρξη των ακόλουθων συνεπειών. Οι χώρες της νότιας και κεντρικής Ευρώπης πλήττονται όλο και πιο συχνά από κύματα καύσωνα, δασικές πυρκαγιές και ξηρασίες. Η λειψυδρία στις περιοχές της Μεσογείου αυξάνεται συνεχώς με αποτέλεσμα να μεγαλώνουν οι κίνδυνοι ξηρασίας και ανεξέλεγκτων πυρκαγιών. Η Βόρεια Ευρώπη δέχεται μεγαλύτερες ποσότητες βροχοπτώσεων και οι πλημμύρες θα γίνουν σύνθημα φαινόμενο τον χειμώνα. Οι αστικές περιοχές, όπου ζει σήμερα περίπου το 80% του πληθυσμού της Ευρώπης, εκτίθενται σε καύσωνες, πλημμύρες ή στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, αλλά συχνά δεν είναι κατάλληλα προετοιμασμένες για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Οι συνέπειες, όμως, δε περιορίζονται στον Ευρωπαϊκό χώρο καθώς πλήττουν και τις αναπτυσσόμενες χώρες, οι οποίες αντιμετωπίζουν τεράστιο πρόβλημα. Οι άνθρωποι που ζουν εκεί

συχνά εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το φυσικό τους περιβάλλον και διαθέτουν τους λιγότερους πόρους για να αντιμετωπίσουν την κλιματική αλλαγή και τα ακραία καιρικά φαινόμενα.

Ταυτόχρονα, κρίνονται υπολογίσιμοι οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν για τη δημόσια υγεία. Έχει σημειωθεί αύξηση του αριθμού των θανάτων που σχετίζονται με τον καύσωνα σε ορισμένες περιοχές και μείωση των θανάτων που σχετίζονται με το κρύο σε άλλες χώρες. Επιπλέον, επιδημιολογικά δεδομένα προερχόμενα από μια πληθώρα χωρών υποδεικνύουν τροποποιήσεις στην κατανομή ορισμένων ασθενειών που μεταδίδονται με το νερό και τον αέρα καθώς και φορέων νόσων, άμεση απόρροια της κλιματικής αλλαγής και των καιρικών φαινομένων που επικρατούν σε μια περιοχή ή μια χώρα.

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO), οι αλλαγές σε επίπεδο μικρο- και μακροκλίματος και η υπερθέρμανση του πλανήτη, αναμένεται να επιφέρουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία. Οι επιπτώσεις αυτές θα προέλθουν από τις αυξανόμενες καταιγίδες, πλημμύρες, κύματα ξηρασίας και φωτιές που θα επηρεάσουν τα αποθέματα νερού, την παραγωγή υγιεινών τροφίμων, και τη γενικότερη διαχείριση των συστημάτων υγείας. Η αύξηση της θερμοκρασίας θα συμβάλλει στην αύξηση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας που σχετίζονται με τη διατροφή και την ποιότητα του νερού και του αέρα. Η μεγαλύτερη συχνότητα των καυσώνων αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση της θνησιμότητας από θερμοπληξίες και θερμικό στρες, ενώ δυνητικά μπορεί να επηρεάσει μερίδα του πληθυσμού που φέρει κάποιο υποκείμενο νόσημα, κυρίως καρδιαγγειακές παθήσεις.

Το κεντρικό συμπέρασμα των μελετών που έχουν εκπονηθεί σχετικά με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ανθρώπινη υγεία καταλήγει πως η κλιματική αλλαγή μπορεί να συνεισφέρει, μεταξύ άλλων σε (WHO, 2003): α) αυξημένη θνησιμότητα λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, αλλά και συγχρόνως μειωμένη θνησιμότητα στις λιγότερο θερμές χώρες για τον ίδιο λόγο, β) μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης επιδημιών μεταδοτικών ασθενειών λόγω πλημμυρών και ακραίων καιρικών φαινομένων, γ) υπολογίσιμες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία λόγω της μετακίνησης πληθυσμών εξαιτίας της αύξησης της στάθμης των θαλασσών και της αυξημένης συχνότητας εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων.

Οι υγειονομικές αρχές των Ηνωμένων Πολιτειών διακρίνουν επισήμως 11 κατηγορίες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υγεία (CDC, 2009): α) Άσθμα, αναπνευστικές αλλεργίες και ασθένειες από τον ατμοσφαιρικό αέρα β) Νεοπλασίες διαφόρων εντοπίσεων γ) Καρδιαγγειακές παθήσεις και εμφράγματα δ) Τροφιμογενείς ασθένειες και λοιμώξεις ε) Νοσηρότητα και θνησιμότητα από τη ζέστη στ) Επιπλοκές στην ανθρώπινη ανάπτυξη ζ) Διαταραχές της ψυχικής

υγείας και εκρήξεις άγχους η) Νευρολογικές διαταραχές θ) Ασθένειες που προκαλούνται από φορείς
ι) Ασθένειες που προκαλούνται από το νερό ια) Νοσηρότητα και θνησιμότητα από τον καιρό (ακραία
καιρικά φαινόμενα).

Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός ότι οι κίνδυνοι κρίνονται εξίσου απειλητικοί και για τη χλωρίδα και την πανίδα που επικρατεί σε μια περιοχή που μαστίζεται ή επηρεάζεται σημαντικά από την κλιματική αλλαγή ή τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Η μεγάλη ένταση καθώς και η υψηλή συχνότητα εμφάνισής τους καθιστά πολλά είδη φυτών και ζώων σε κατάσταση συναγερμού, προκειμένου να αντιμετωπίσουν την κατάσταση ομοιοστατικά. Σε περίπτωση αδυναμίας ελέγχου, επέρχεται οικολογική ανισορροπία. Για παράδειγμα, πολλά είδη που ζουν στην ξηρά ή σε γλυκά και θαλασσινά νερά έχουν ήδη μετακινηθεί προς νέες περιοχές. Ορισμένα είδη φυτών και ζώων θα αντιμετωπίσουν υψηλό κίνδυνο εξαφάνισης εάν η μέση θερμοκρασία της γης εξακολουθήσει να αυξάνεται ανεξέλεγκτα.

Λαμβάνοντας υπ' όψη όλα τα παραπάνω, είναι εύληπτο ότι η κλιματική αλλαγή και τα ακραία καιρικά φαινόμενα δύνανται να επηρεάσουν και να μεταβάλλουν σημαντικά όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο, οι υλικές ζημιές και οι ζημιές στις υποδομές, καθώς και στην ανθρώπινη υγεία, συνεπάγονται υψηλό κόστος αφενός για την κοινωνία και αφετέρου για την οικονομία. Το διάστημα 1980 - 2011, οι πλημμύρες έπληξαν περισσότερα από 5,5 εκατομμύρια άτομα και προκάλεσαν άμεσες οικονομικές ζημιές άνω των 90 δισ. ευρώ. Τομείς που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το επίπεδο της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων, όπως η γεωργία, η δασοκομία, η ενέργεια και ο τουρισμός πλήττονται σε μεγάλο βαθμό.

Κεφάλαιο 2: Η Νότια Κύμανση και τα χαρακτηριστικά της

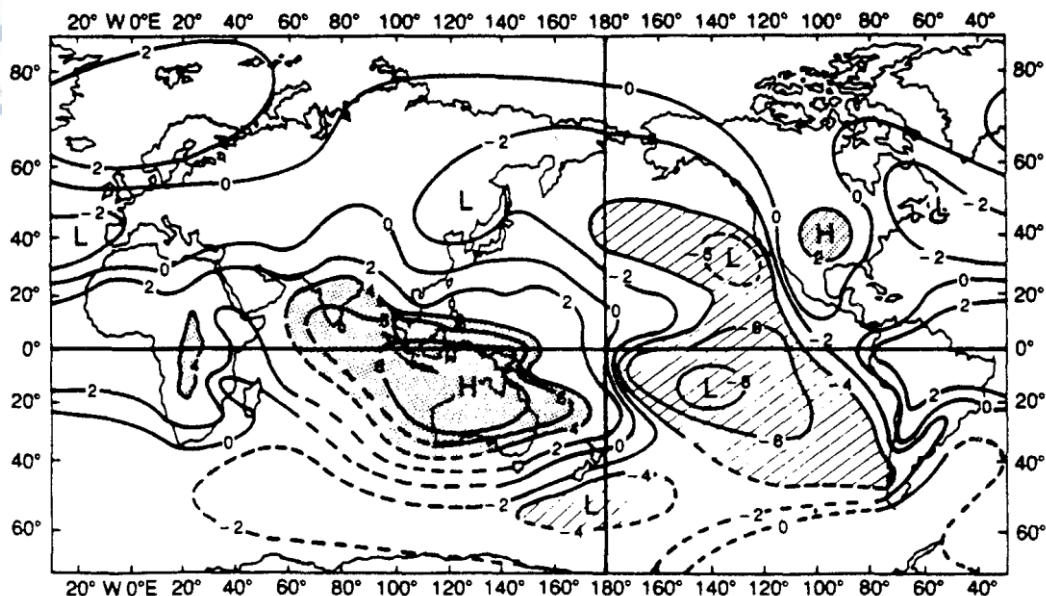
2.1. Ανασκόπηση του φαινομένου και σύγχρονες απόψεις

Η Νότια Κύμανση (Southern Oscillation) αποτελεί μια από τις σημαντικότερες αιτίες παγκόσμιων καιρικών και κλιματικών μεταβολών σε κλίμακες μεγαλύτερες του έτους. Το φαινόμενο στο παρελθόν αναφέρονταν και ως κύμανση Walker, αλλά στη σύγχρονη βιβλιογραφία παρουσιάζεται σαν EI Nino / Southern Oscillation (εν συντομία ENSO).

Πρώτη αναφορά για την ύπαρξη μιας κύμανσης στην επιφανειακή ατμοσφαιρική πίεση σε παγκόσμια κλίμακα έγινε στο τέλος του περασμένου αιώνα από τους Walker και Bliss (1932, 1937), οι οποίοι δεν ασχολήθηκαν μόνο με τα χαρακτηριστικά της μεταβολής της ατμοσφαιρικής πίεσης, αλλά και με τις μεταβολές στη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση και τα πεδία ροής του ανέμου που συσχετίζονται πλήρως με αυτήν.

Το φαινόμενο ονομάστηκε Νότια Κύμανση (Southern Oscillation), έτσι ώστε να διαχωρίζεται από τις άλλες κυμάνσεις, όπως χαρακτηριστικά την Κύμανση του Βορείου Ατλαντικού και την Κύμανση του Βορείου Ειρηνικού. Μελέτες που ακολούθησαν από αξιόλογους ερευνητές επιβεβαίωσαν τις θεωρίες των Walker και Bliss. Πιο συγκεκριμένα, ο Berlage (1957, 1966) ανέφερε ότι η Νότια Κύμανση δεν είναι μια συνηθισμένη περιοδική κύμανση, αλλά είναι κυματικής φύσης με περιόδους που κυμαίνονται από 2 - 8 έτη. Αργότερα, οι Julian και Chervin (1978), οι Rasmusson και Carpenter (1982) και οι Kiladis και Van Loon (1988) έδωσαν σαφείς περιγραφές της εμφάνισης και εξέλιξης του φαινομένου στην περιοχή του τροπικού Ειρηνικού Ωκεανού, η οποία αποτελεί και την άμεση περιοχή επίδρασης του. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η Νότια Κύμανση εκτείνεται κατακόρυφα στην ατμόσφαιρα από την επιφάνεια του εδάφους έως και τη στρατόσφαιρα (Van Loon, 1982).

Η φύση της ταλάντωσης εμφανίζεται στις αντίστροφες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης επιφανείας στο Darwin (12.4° N 130.9° A) της Β. Αυστραλίας και στην Ταϊτή (17.5° N, 149.6° Δ) στον νότιο Ειρηνικό. Η Νότια Κύμανση αποτελεί ένα στάσιμο κύμα που προκαλεί ανταλλαγές ατμοσφαιρικών αερίων μαζών μεταξύ του ανατολικού και δυτικού ημισφαιρίου. Οι περιοχές που επηρεάζονται άμεσα βρίσκονται στα τροπικά και υποτροπικά πλάτη, με επίκεντρο την Ινδονησία και το νότιο τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό (βλ. σχήμα 2.1).



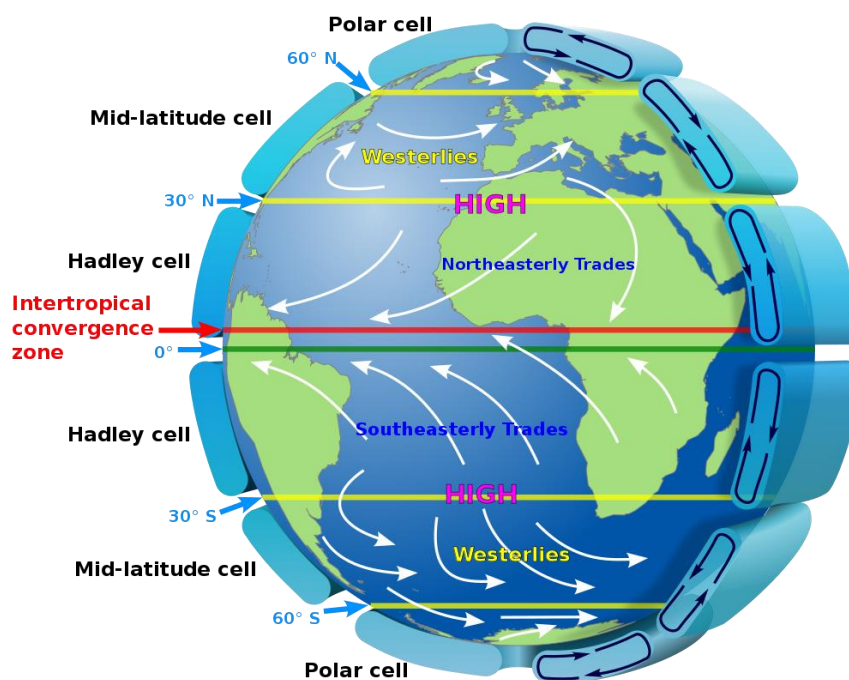
Σχήμα 2.1: Απεικόνιση μέσης ετήσιας ατμοσφαιρικής πίεσης και εμφάνιση των κέντρων δράσης του φαινομένου της Νότιας Κύμανσης (Trenberth και Shea, 1987).

Η ζώνη των χαμηλών πιέσεων γύρω από την περιοχή του ισημερινού ($\pm 10^\circ$) έχει ευρέως ονομαστεί ως Ενδοτροπική Ζώνη Σύγκλισης (Intertropical Convergence Zone). Στη ζώνη αυτή παρουσιάζονται ανοδικές αέριες κινήσεις, λόγω της έντονης υπερθέρμανσης, με αποτέλεσμα τη σύγκλιση αέριων μαζών, δημιουργία νεφών και αύξηση των βροχοπτώσεων. Όσο επεκτείνονται τέτοιες περιοχές αστάθειας στον Νότιο Ειρηνικό Ωκεανό, σχηματίζεται η Ζώνη Σύγκλισης του Νότιου Ειρηνικού (South Pacific Convergence Zone).

Η κυκλοφορία Hadley, που αποτελεί τη μεσημβρινή συνιστώσα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στους τροπικούς, περιλαμβάνει δύο κύτταρα μεσημβρινής κυκλοφορίας (Ζερεφός, 1984). Αρχικά, υγρός αέρας ανέρχεται στην περιοχή της Ενδοτροπικής Ζώνης Σύγκλισης¹ και κατόπιν χωρίζεται, αποκλίνοντας προς τους πόλους στην ανώτερη τροπόσφαιρα κατερχόμενος σε περιοχές βόρεια και νότια της Ζώνης (βλ. εικόνα 2.1). Τα κύτταρα αυτά δεν είναι ισοδύναμα, και σαν ισχυρότερο εμφανίζεται αυτό το οποίο παρουσιάζει καθοδική κίνηση στο χειμερινό ημισφαίριο, όπου η μεσημβρινή θερμοβαθμίδα είναι μεγαλύτερη. Οι εποχικές διακυμάνσεις συχνά δηλώνουν

¹ Η Ενδοτροπική Ζώνη Σύγκλισης είναι ζώνη της Γης γύρω από τον ισημερινό όπου συγκλίνουν οι θερμοί και υγροί αληγείς άνεμοι των δύο ημισφαιρίων. Είναι περιοχή χαμηλού βαρομετρικού και σταθερών καιρικών συνθηκών που προκαλούν ιδιαίτερα πυκνές νεφώσεις, έλλειψη ανέμων (ζώνη τροπικών νηνεμιών) και υψηλές θερμοκρασίες, χαρακτηριστικά των τροπικών περιοχών και κλιμάτων που εντοπίζονται στην ίδια περιοχή.

μεταβολές στην τοποθεσία και την ένταση καθενός από τα κύτταρα της κυκλοφορίας Hadley². Η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας περιλαμβάνει και ένα μόνιμο κύτταρο ζωνικής κυκλοφορίας, το οποίο εμφανίζει ανοδικές κινήσεις στο δυτικό και καθοδικές στον ανατολικό Ειρηνικό, με τους ανατολικούς αληγείς ανέμους να συνδέουν επιφανειακά τις δύο αυτές περιοχές, ενώ στην ανώτερη τροπόσφαιρα επικρατούν δυτικοί άνεμοι. Το κύτταρο αυτό ονομάστηκε κύτταρο Walker από τον Bjerknes (1966), ο οποίος υπέθεσε ότι προκαλείται από την οριζόντια θερμοβαθμίδα στην επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας (Sea Surface Temperature, ή πιο σύντομα SST, το οποίο θα αναφέρεται στη συνέχεια) κατά μήκος του Ειρηνικού. Το κύτταρο ζωνικής κυκλοφορίας δεν βρίσκεται απόλυτα εντοπισμένο στον ισημερινό, αλλά εκτείνεται και πέρα από αυτόν, εξαιτίας του κυττάρου κυκλοφορίας Hadley (Τουρπάλη, 1994).



Εικόνα 2.1: Γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας (<https://www.ecoweather.gr/>)

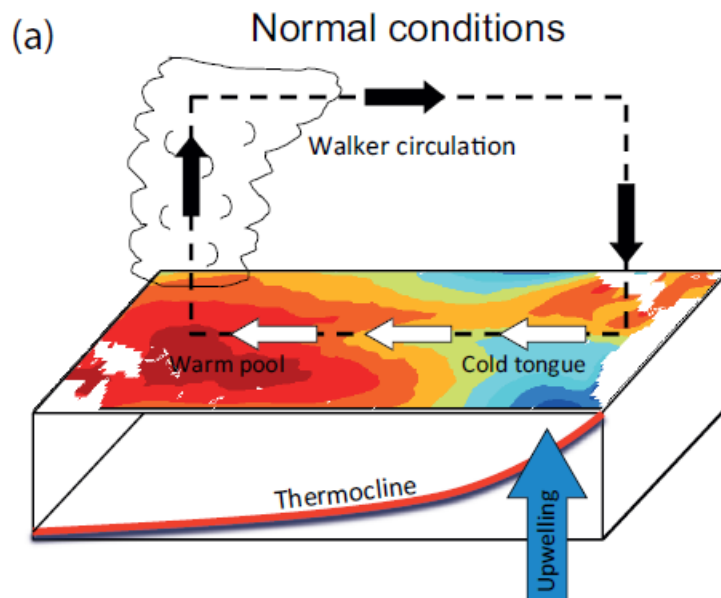
Ο Bjerknes ήταν αυτός που πρώτος αναγνώρισε τη σχέση μεταξύ ατμοσφαιρικών και ωκεάνιων μεταβολών στην περιοχή του τροπικού Ειρηνικού. Αφού ασχολήθηκε με τη μελέτη της εξασθένισης της κυκλοφορίας Walker και της ενδυνάμωσης της κυκλοφορίας Hadley κατά την διάρκεια των επεισοδίων, συνέδεσε τις μεταβολές SST με μεταβολές των ζωνών σύγκλισης και των συστημάτων επιφανειακών ανέμων, τα οποία με την σειρά τους επηρεάζουν ισχυρά την SST, με

² Αποτελεί το πρώτο από τα τρία βασικά κύτταρα με τα οποία μπορεί να περιγραφεί η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Το κύτταρο αυτό αποτελεί το τμήμα εκείνο της γενικής κυκλοφορίας που παρατηρείται στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές (30S – 30N) και η δημιουργία/συντήρηση του σχετίζεται άμεσα με τη ροή του ατμοσφαιρικού αέρα στις παραπάνω περιοχές.

αποτέλεσμα να εντοπίζεται πολύ έντονη σύζευξη στο σύστημα ατμόσφαιρας - ωκεανού στην περιοχή των τροπικών. Ο φυσικός μηχανισμός που προτάθηκε από τον Bjerknes παραμένει μέχρι και σήμερα αποδεκτός και έχει επιβεβαιωθεί μέσω προσομοιώσεων από αρκετά μοντέλα σύζευξης ατμόσφαιρας - ωκεανού. Με τον τρόπο αυτό σχετίζονται η Νότια Κύμανση με το φαινόμενο El Nino, γεγονός το οποίο γίνεται εύκολα αντιληπτό από τις μεγάλες μεταβολές στην SST του τροπικού Ειρηνικού (Bjerknes, 1966, 1969, 1972).

2.2. Κανονική κυκλοφορία και κυκλοφορία ENSO

Κυκλοφορία Walker



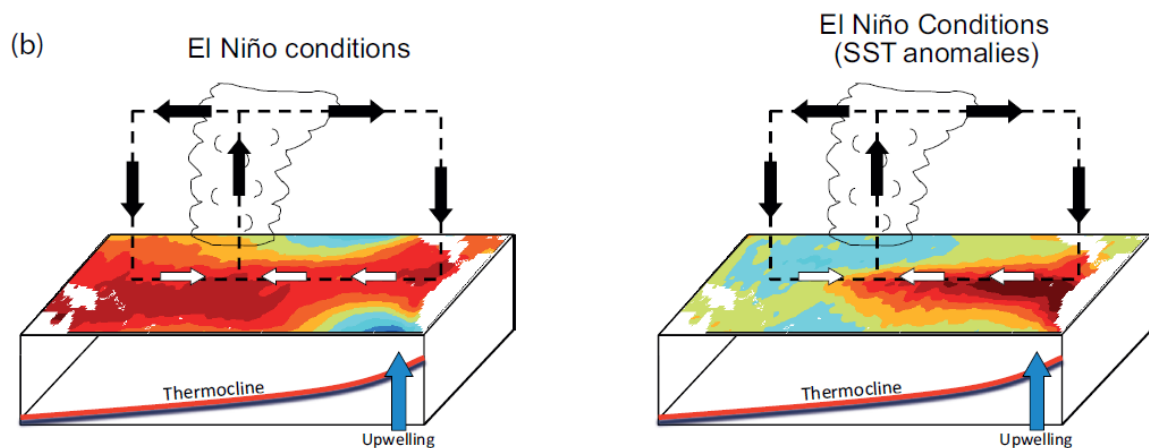
Σχήμα 2.2: Οι μέσες κλιματικές συνθήκες στον τροπικό Ειρηνικό (IPCC, 2013).

Η Νότια Κύμανση σχετίζεται άμεσα με την κατανομή της επιφανειακής θερμοκρασίας στην περιοχή του τροπικού Ειρηνικού. Μετρήσεις που ακολούθησαν έδειξαν τις περιοδικές αλλαγές της επιφανειακής θερμοκρασίας που συμβαίνουν στο συγκεκριμένο τμήμα του Ειρηνικού ωκεανού. Πιο αναλυτικά, στην Ινδονησία η επιφανειακή θερμοκρασία των υδάτων είναι υψηλή, σε αντίθεση με τις περιοχές στην άλλη πλευρά του ωκεανού (Εκουαδόρ, Περού και γύρω περιοχές), όπου παρουσιάζεται αρκετά χαμηλή. Αυτό αποτελεί και την κύρια αιτία εμφάνισης μεγάλων διαφορών στην ατμοσφαιρική πίεση μεταξύ ανατολικού (υψηλή πίεση) και δυτικού (χαμηλή πίεση) τροπικού Ειρηνικού.

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι όταν πνέουν ανατολικοί αληγείς άνεμοι, αναπτύσσεται ένας κλειστός δακτύλιος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην περιοχή, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τις

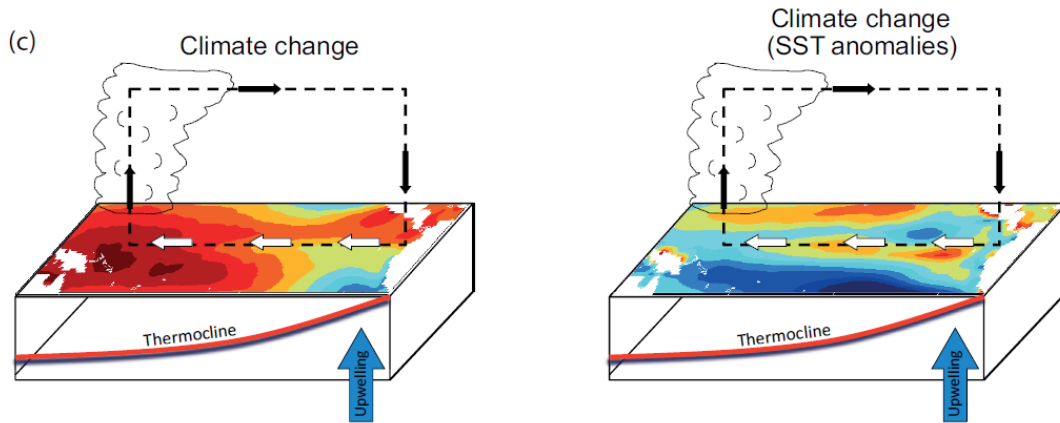
ακόλουθες κινήσεις. Έχουμε ανοδικές κινήσεις στην ευρύτερη περιοχή της Β. Αυστραλίας και της Ινδονησίας, όντας περιοχές με χαμηλές πιέσεις λόγω υψηλών θερμοκρασιών της θάλασσας, και καθοδικές κινήσεις πλησίον των ακτών του Περού και του Εκουαδόρ, καθώς είναι περιοχές με υψηλές πιέσεις λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών της θάλασσας, αντίστοιχα. Η κυκλοφορία ολοκληρώνεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα με δυτικούς ανέμους. Αυτή η ατμοσφαιρική κυκλοφορία αποτελεί την κυκλοφορία Walker (Παρασκευόπουλος, 2015).

Κυκλοφορία ENSO



Σχήμα 2.3: Το φαινόμενο El Niño (IPCC, 2013).

Κατά την κυκλοφορία El Niño εμφανίζονται ανοδικές κινήσεις στην περιοχή της Ταϊτής και καθοδικές στην περιοχή της Β. Αυστραλίας και της Ινδονησίας καθώς και ανοικτά των ακτών του Περού. Ανατολικά της περιοχής του τροπικού Ειρηνικού η επιφανειακή θερμοκρασία είναι εξαιρετικά αυξημένη. Ακολουθεί σύγκλιση των αέριων μαζών και εν συνεχεία εξασθένιση των αληγών ανέμων, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η κυκλοφορία Walker. Η ανύψωση των υδάτων ελαττώνεται και το θερμοκλινές ισοπεδώνεται (βλ. σχήμα 2.4) (Παρασκευόπουλος, 2015).



Σχήμα 2.4: Κυκλοφορία επηρεασμένη από κλιματικές μεταβολές (IPCC, 2013).

2.3. Τα επεισόδια El Nino και La Nina

Ο όρος Νότια Κύμανση αρχικά προσομοίαζε το ασθενές θερμό θαλάσσιο ρεύμα που εμφανίζεται μία φορά τον χρόνο, στην περίοδο των Χριστουγέννων, κατά μήκος των ακτών του Περού και του Ισημερινού. Είχε άμεση συσχέτιση με τα ασυνήθιστα επεισόδια θέρμανσης, τα επεισόδια El Nino, η εμφάνιση των οποίων γίνεται ανά περιόδους και η επίδρασή τους είναι καταστροφική στην οικολογική ισορροπία της περιοχής.

Η Νότια Κύμανση σε συνδυασμό με το φαινόμενο El Nino εκφράζουν την ωκεανογραφική και κλιματολογική πλευρά του ίδιου φαινομένου, γι' αυτό και η ονομασία El Nino – Southern Oscillation (ENSO). Το φαινόμενο αυτό αποτελεί μια σύζευξη φαινομένων ατμόσφαιρας – ωκεανού και συμβαίνει σε υπερετήσια βάση στον Ειρηνικό ωκεανό, κοντά στους τροπικούς. Στην συγκεκριμένη περιοχή νεότερα επιστημονικά δεδομένα υποστηρίζουν ότι οι τιμές της επιφανειακής ωκεάνιας θερμοκρασίας αυξάνονται κατά $1,5^{\circ}\text{C}$.

Το φαινόμενο ENSO διακρίνεται σε θερμό και ψυχρό επεισόδιο, ή El Nino και La Nina αντίστοιχα. Τα παραπάνω επεισόδια καλύπτουν μια πληθώρα ατμοσφαιρικών και ωκεάνιων μεταβολών, τα πλάτη των οποίων δεν είναι πάντα όμοια από επεισόδιο σε επεισόδιο. Παρ' όλα αυτά, τα επεισόδια αυτά παρουσιάζουν και σημαντικές ομοιότητες. Παρακάτω ακολουθεί περιγραφή της εξέλιξης ενός επεισοδίου από τους Rasmusson και Carpenter (1982).

Ένα τυπικό επεισόδιο Νότιας Κύμανσης μπορεί να αναλυθεί σε τρεις κύριες φάσεις: Την αρχική φάση, στην οποία εμφανίζονται τα πρόδρομα φαινόμενα του επεισοδίου, την φάση της

ανάπτυξης των μεταβολών του επεισοδίου, και κατόπιν την τελική φάση, όπου τα φαινόμενα αρχίζουν να εξασθενούν και επιστρέφουν στην συνήθη για την εποχή κατάσταση. Ένα επεισόδιο El Nino μπορεί να περιγραφεί ως εξής: Ανοδικά ρεύματα του κυττάρου κανονικής κυκλοφορίας Walker μετατοπίζονται προς τα ανατολικά, γεγονός που αποτυπώνει την αρχική φάση του θερμού επεισοδίου. Αυτό συμβαίνει προς το τέλος του ημερολογιακού έτους, το οποίο προηγείται ενός θερμού επεισοδίου (Έτος -1). Ακολουθεί μείωση της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας στις περιοχές του ΝΑ Ειρηνικού και αντίστοιχη αύξησή της στο Darwin της Αυστραλίας. Παράλληλα, επικρατεί εξασθένηση των αληγών ανέμων στα δυτικά του Ειρηνικού και αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας πάνω από τη μέση τιμή για την εποχή, με ταυτόχρονη αύξηση των βροχοπτώσεων.

Μία επιπλέον προειδοποίηση θερμού επεισοδίου αποτελεί η μετακίνηση της Ενδοτροπικής Ζώνης Σύγκλισης προς τα νότια. Αυτή η μετακίνηση συνοδεύεται από ασθενείς ανέμους, καθώς κι από εξαιρετικά υψηλές τιμές στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας και στην βροχόπτωση στον ανατολικό τομέα, σε μια χρονική περίοδο όπου τα μεγέθη αυτά παρουσιάζουν μέγιστα. Η εμφάνιση όλων των παραπάνω ανατολικά του τροπικού Ειρηνικού συμβαίνει κατά την διάρκεια των πρώτων μηνών του ημερολογιακού έτους έναρξης του επεισοδίου (Έτος 0). Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί ότι και σε περίοδο μη εμφάνισης θερμού επεισοδίου πιθανότατα να υπήρχαν παρόμοιες συνθήκες, γεγονός που δηλώνει ότι οι συγκεκριμένες μεταβολές δεν θα αποτελούσαν προάγγελο επεισοδίου El Nino.

Η πιο σημαντική φάση του θερμού επεισοδίου είναι η δεύτερη φάση. Οι ανώμαλες αυτές μεταβολές που αναφέρθηκαν στην αρχική φάση εξαπλώνονται προς τα δυτικά του Ειρηνικού ωκεανού, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται κατά μήκος των ακτών του Περού και του Ισημερινού, και καταλήγουν να καλύπτουν όλον τον τροπικό Ειρηνικό κατά τον Οκτώβριο του Έτους 0. Το αποκορύφωμα της εξάπλωσης του φαινομένου παρουσιάζεται τον χειμώνα του βορείου ημισφαιρίου, από τον Νοέμβριο του Έτους 0 μέχρι και τον Ιανουάριο του επόμενου έτους (Έτος +1). Συνοψίζοντας, κατά την κύρια φάση του θερμού επεισοδίου, η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας είναι αυξημένη σχεδόν σε όλες τις τροπικές περιοχές του Ειρηνικού και επικρατούν πολύ ασθενείς αληγείς άνεμοι. Οι βροχοπτώσεις αυξάνονται και η θερμοκρασία της τροπόσφαιρας εμφανίζεται ιδιαίτερα αυξημένη σε σχέση με την μέση τιμή της εποχής σε όλη την έκταση των τροπικών. Το κύτταρο Walker εξασθενεί, ενώ η κυκλοφορία Hadley ενισχύεται (Τουρπάλη, 1994).

Φτάνοντας στην τελευταία φάση του επεισοδίου, και ξεκινώντας τώρα αντίστροφα από τις ακτές της Νοτίου Αμερικής, το πλάτος των μεταβολών αρχίζει σταδιακά να ελαττώνεται. Οι συνθήκες επιστρέφουν στα πρότυπα των κανονικών για την περιοχή, βγάζοντας το συμπέρασμα ότι

ένα θερμό επεισόδιο διαρκεί κοντά στους 18 μήνες.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα υποκεφάλαια, τα επεισόδια ENSO χαρακτηρίζονται ως θερμά επεισόδια, λόγω της γενικής θέρμανσης που παρουσιάζεται στον ανατολικό τομέα του τροπικού Ειρηνικού ωκεανού και η οποία δεν περιορίζεται στο στρώμα επιφανείας, αλλά η επέκτασή της γίνεται αισθητή και στα ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα της περιοχής.

Η αντίστροφη φάση της Νότιας Κύμανσης εμφανίζεται σαν μια επέκταση και ενδυνάμωση των κανονικών συνθηκών που επικρατούν συνήθως στον Ειρηνικό. Συνήθως γίνεται αναφορά της με τον όρο ‘ψυχρό επεισόδιο’, αλλά έχουν προταθεί και οι όροι αντί-El Nino ή La Nina, οι οποίοι δεν τυγχάνουν ακόμη ευρείας αποδοχής. Οι μορφές εμφάνισης των ψυχρών επεισοδίων είναι λιγότερο ομοιόμορφες από επεισόδιο σε επεισόδιο απ' ότι συμβαίνει στα θερμά επεισόδια της κύμανσης. Σε ένα La Nina επεισόδιο οι αληγείς είναι πολύ ισχυροί, ελαττώνεται η θέρμανση των τροπικών και η ζώνη βροχόπτωσης περιορίζεται στα δυτικά, ενώ η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας ολοένα και μειώνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά του Ειρηνικού, στην περιοχή των τροπικών.

Ιστορικά, το El Nino έχει τραβήξει περισσότερη προσοχή από το La Nina, εν μέρει επειδή σχετίζεται με πιο σοβαρές κλιματολογικές συνθήκες, όπως ισχυρές βροχοπτώσεις στην παράκτια έρημο του Περού και καταστροφές του ινδικού μουσώνα. Στην πραγματικότητα, μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980, σύνθετη ανάλυση είχε πραγματοποιηθεί μόνο για το El Nino και όχι για το La Nina. Μετά την επωνομασία της ψυχρής φάσης του ENSO σε La Nina από τον Philander (1985) και αφότου οι κλιματολογικές της επιπτώσεις τράβηξαν την προσοχή του κόσμου με ένα από τα ισχυρότερα γεγονότα που καταγράφηκαν το 1988–89 (π.χ. Kerr, 1988), οι ερευνητές άρχισαν να αντιμετωπίζουν τα El Nino και La Nina ως συμπληρωματικές φάσεις του φαινομένου της Νότιας Κύμανσης. Πράγματι, οι περισσότερες μελέτες που χρησιμοποιούν γραμμικές τεχνικές, όπως παλινδρόμηση, ανάλυση εμπειρικής ορθογωνικής λειτουργίας (EOF) ή warm-minus-cold σύνθετα για την αναγνώριση των κανονικών προτύπων και την εξέλιξη των γεγονότων ENSO, υπέθεσαν ότι το La Nina είναι μια καθρεφτισμένη εικόνα του El Nino (Okumura, 2010).

Τα El Nino και La Nina παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στη χωρική τους δομή και την εξέλιξή τους ανά εποχή. Ειδικότερα, οι ανωμαλίες της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SST) πάνω από την ψυχρή γλώσσα του Ειρηνικού, κοντά στην περιοχή του ισημερινού, είναι μεγαλύτερες κατά τη διάρκεια του El Nino σε σύγκριση με το La Nina, έχοντας ως αποτέλεσμα την θετική στρέβλωση των διαχρονικών παραλλαγών SST.

Οι σχετικές ατμοσφαιρικές ανωμαλίες βαθιάς μεταφοράς μετατοπίζονται ανατολικά κατά τη

διάρκεια του El Nino σε σύγκριση με το La Nina, λόγω της μη γραμμικής ατμοσφαιρικής απόκρισης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας. Εκτός από αυτά τα γνωστά χαρακτηριστικά, μια ανάλυση δεδομένων παρατήρησης για τον περασμένο αιώνα δείχνει ότι υπάρχει μια σημαντική ασυμμετρία κατά την διάρκεια των δύο επεισοδίων.

Τα περισσότερα φαινόμενα El Nino και La Nina αναπτύσσονται στα τέλη της άνοιξης προς καλοκαίρι, όταν η κλιματολογικά ψυχρή γλώσσα είναι ισχυρή, και κορυφώνονται κοντά στο τέλος του ημερολογιακού έτους, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο. Μετά την ώριμη φάση, το El Nino τείνει να αποσυντεθεί γρήγορα μέχρι το επόμενο καλοκαίρι, αλλά πολλά από τα La Nina επεισόδια επιμένουν μέχρι το επόμενο έτος και συχνά ενδυναμώνονται ξανά τον επόμενο χειμώνα (Okumura, 2010).

2.3.1. CP και EP El Nino

Οι μηχανισμοί και η πρόβλεψη των γεγονότων του El Nino παραμένουν απροσδιόριστα παρά τις σημαντικές επιπτώσεις τους, καθώς κάθε ένα από αυτά παρουσιάζει μοναδικά και χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Στην πραγματικότητα, τα γεγονότα του El Nino ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό στη δύναμη, την εξέλιξη και τον εντοπισμό σύμφωνα με τις σύγχρονες καταγραφές παρατηρήσεων του φαινομένου. Ένα τρέχον επιστημονικό ζήτημα μεγάλου ενδιαφέροντος συνιστά η κατανόηση των μηχανισμών που οδηγούν στον εντοπισμό των ανωμαλιών της θερμοκρασίας της θάλασσας (SST), είτε στον κεντρικό (CP) είτε στον ανατολικό Ειρηνικό (EP).

Σειρά επιστημονικών δεδομένων παρουσιάζει δύο διαφορετικές εκδοχές για τα γεγονότα του El Nino. Αναλυτικότερα, η SST ανωμαλία διαδίδεται μέχρι τον ανατολικό Ειρηνικό (EP) ή παρεμποδίζεται στον κεντρικό Ειρηνικό (CP). Παρόλο που τα ακραία γεγονότα του El Nino, όπως για παράδειγμα αυτά του 1982-83, 1997-98, εμφανίζουν μέγιστες ανωμαλίες SST στον ανατολικό Ειρηνικό, υπήρξαν πολλά παραδείγματα ήπιων CP El Nino γεγονότων σε πρόσφατες καταγραφές (Ashok, 2007, Kug, 2009, Capotondi, 2015). Το πιο πρόσφατο ακραίο γεγονός θερμού επεισοδίου του 2015-2016 επέδειξε ανωμαλίες SST τόσο στον κεντρικό όσο και στον ανατολικό Ειρηνικό (Paek, 2016, Chen, 2017). Μελέτες έδειξαν ακόμα ότι έχει σημειωθεί σταθερή αύξηση στην εμφάνιση εκδηλώσεων CP El Nino γεγονότων κατά τις τελευταίες δεκαετίες (Liu, 2017) (βλ. σχήμα 2.5), και πολλά μοντέλα δείχνουν ότι μια τέτοια τάση θα συνέχιζε σε ένα πιθανό σενάριο θέρμανσης του κλίματος του πλανήτη.

Στην επόμενη σελίδα, ακολουθεί ο πίνακας του σχήματος 2.5 με τις εμφανίσεις EP και CP El Nino επεισοδίων από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα μέχρι και το 2010.

El Niño	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1950-1951		EP							
1957-1958		EP		EP					EP
1963-1964	CP	EP		EP		CP			
1965-1966		EP		EP		M			EP
1968-1969	CP	CP		CP		CP			CP
1969-1970		EP		EP		CP			EP
1972-1973		EP		EP	EP	M			EP
1976-1977		EP		EP	EP	M			
1977-1978	CP	CP		CP	CP	CP	CP		
1979-1980	CP	EP		EP					
1982-1983		EP	EP	EP	EP	M	EP	EP	EP
1986-1987		EP		EP	M	M	CP	EP	EP
1987-1988	CP	EP	EP	EP	M	M			CP
1990-1991	CP	CP		CP	CP		CP	CP	
1991-1992	CP	EP	CP	EP	M	M	EP	EP	EP
1992-1993	CP	CP					CP		
1994-1995	CP	CP	CP	CP	CP	M	CP	CP	CP
1997-1998		EP	EP	EP	EP	EP	EP	EP	EP
2001-2002		CP							
2002-2003	CP	EP	CP	CP	CP		CP	CP	CP
2003-2004		EP							
2004-2005	CP	CP	CP	CP	CP		CP	CP	
2006-2007		EP	EP	EP			CP		CP
2009-2010		CP	CP		CP				

Σχήμα 2.5: Εμφάνιση CP και EP El Nino γεγονότων με τη βοήθεια διάφορων μεθόδων, όπως π.χ: στήλη A με τη μέθοδο EOF, στήλη B με σύγκριση των σχετικών πλατών των δεικτών Nino3 και Nino4 (Παρασκευόπουλος, 2015).

2.4. Τηλεσυνδέσεις

Η Νότια Κύμανση προκαλεί μεγάλες αποκλίσεις από έτος σε έτος στην άμεση θερμική ατμοσφαιρική κυκλοφορία στους τροπικούς και ασκεί επιρροή στην κυκλοφορία κι άλλων περιοχών εκτός των τροπικών, με την δράση των τηλεσυνδέσεων. Τα αποτελέσματα της επίδρασης της γίνονται αντιληπτά κατά τη διάρκεια της ώριμης φάσης του θερμού επεισοδίου, όπου ανωμαλίες στην θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας εμφανίζονται στο μεγαλύτερο τμήμα του Ειρηνικού ωκεανού.

Πιο συγκεκριμένα, στην ανώτερη τροπόσφαιρα αναπτύσσεται ένα αντικυκλωνικό ζεύγος, σε μια φάση όπου η ατμόσφαιρα έχει θερμανθεί στο μέγιστο. Στις πλευρές του ζεύγους που βρίσκονται προς τους πόλους επικρατεί ενίσχυση των υποτροπικών αεροχειμμάτων και μετακίνησή τους προς τον ισημερινό, ειδικότερα στο βόρειο ημισφαίριο. Στο νότιο ημισφαίριο, καθώς ενισχύονται οι υποτροπικοί αεροχείμαρροι, παρατηρούνται ισχυρές βροχοπτώσεις σε χώρες της Ν. Αμερικής κατά την δράση επεισοδίων El Nino. (Berlage, 1966, Horel, 1982).

Αυτή η ενίσχυση και μετάθεση των αεροχειμμάτων προς τον ισημερινό κατά τους πρώτους ημερολογιακούς μήνες (χειμώνας του βορείου ημισφαιρίου) ενός θερμού επεισοδίου της κύμανσης, είναι ένα τμήμα μιας κατάστασης, που ονομάστηκε από τους Horel και Wallace (1981) ως Pacific North American (PNA) κατάσταση. Η PNA κατάσταση, όπως αναφέρεται χάριν συντομίας, σχηματίζεται από θετικές και αρνητικές αποκλίσεις των γεωδυναμικών υψών στον Β. Ειρηνικό ωκεανό και την Β. Αμερική (Τουρπάλη, 1994). Η κατάσταση αυτή περιγράφεται στο σχήμα 2.6, το οποίο παρατίθεται ακολούθως.



Σχήμα 2.6: Σχηματική αναπαράσταση της κατάστασης PNA (Τουρπάλη, 1994).

Σύμφωνα με το σχήμα, η κατάσταση παριστάνεται με την μορφή στάσιμων κυμάτων κατά μήκος μιας κυκλικής τροχιάς που αρχίζει από την περιοχή θέρμανσης στο τροπικό Ειρηνικό, συνεχίζει με κατεύθυνση προς το βορρά, καμπυλώνεται προς τα ανατολικά και, τελικά, στρέφεται προς τον ισημερινό πάνω από τα ανατολικά των ΗΠΑ. Διακρίνονται οι θετικές (H) και οι αρνητικές (L) αποχές από τη μέση τιμή των γεωδυναμικών υψών στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα. Ασυνήθιστα χαμηλές παρουσιάζονται η επιφανειακή πίεση και η θερμοκρασία στις περιοχές του βορείου Ειρηνικού και στις ανατολικές περιοχές των ΗΠΑ, όπου αποτελούν τα επίκεντρα των διαταραχών. Αντίθετα, στην ΒΔ Αμερική, η επιφανειακή πίεση και η θερμοκρασία είναι εξαιρετικά υψηλές. Η βροχόπτωση και η νέφωση είναι αυξημένες στην σκιασμένη περιοχή του χάρτη (βλ. σχήμα

2.6). Όπως καθίσταται αντιληπτό, το PNA αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη μακροχρόνια πρόγνωση της κατάστασης στην Βόρεια Αμερική (Τουρπάλη, 1994).

Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκαν προσπάθειες μελέτης και ερμηνείας του μηχανισμού των τηλεσυνδέσεων από την περιοχή των τροπικών στον Ειρηνικό ωκεανό προς μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, χωρίς όμως να έχει διευκρινιστεί πλήρως το φαινόμενό τους (Tribbia, 1991). Από απόπειρες που ακολούθησαν ώστε να ερμηνευτεί τελικά η δράση των τηλεσυνδέσεων του ENSO με άλλες περιοχές βγήκαν τα παρακάτω συμπεράσματα, που θεωρήθηκαν κι ως η σύγχρονη ερμηνεία των χαρακτηριστικών της τηλεσύνδεσης.

Στα θερμά επεισόδια, El Nino, η υψηλή θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας ωθεί σε σύγκλιση και αύξηση της βροχόπτωσης στις τροπικές περιοχές του Ειρηνικού. Αυτή η αύξηση της βροχόπτωσης οδηγεί σε μεγαλύτερη απελευθέρωση λανθάνουσας θερμότητας και σε αύξηση της αποκλίνουσας ροής στα ανώτερα στρώματα. Αντίθετα, στα επεισόδια La Nina, παρατηρείται απόκλιση στα χαμηλά επίπεδα και μείωση της βροχόπτωσης στη συγκεκριμένη ζώνη, εξαιτίας της εξαιρετικά χαμηλής θερμοκρασίας στα νερά του Ειρηνικού. Όπως είναι αναμενόμενο, βλέποντας και τα χαρακτηριστικά των θερμών επεισοδίων, στα ψυχρά επεισόδια η ελάττωση της βροχόπτωσης μειώνει την απελευθέρωση λανθάνουσας θερμότητας και αυξάνει την ανώμαλη συγκλίνουσα ροή στα ανώτερα επίπεδα. Βέβαια, στην ερμηνεία του φαινομένου δεν έχει ληφθεί υπόψιν η κατακόρυφη μεταβολή του ανέμου, γεγονός που δυσκολεύει την προσέγγιση και πρόγνωση των επεισοδίων της κύμανσης.

Ένα επιπλέον πρόβλημα ανασύρθηκε στην επιφάνεια από τον Held (1989), ο οποίος διαπίστωσε ότι μια ανώμαλη αύξηση της SST συνδέεται μόνο έμμεσα με την διαφορά μεταξύ θερμών και ψυχρών επεισοδίων. Η ανωμαλία στην επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας προκαλεί ανακατανομή στους διερχόμενους στροβίλους, η πίεση καθημερινά αυξομειώνεται λόγω των ανάλογων καιρικών φαινομένων κι έτσι προκαλείται μια σειρά πλανητικών κυμάτων Rossby³, και κατά συνέπεια μια κατάσταση τηλεσύνδεσης, χωρίς όμως αυτή να αποτελεί την τυπική κατάσταση τηλεσύνδεσης σε κάθε επεισόδιο ξεχωριστά (Τουρπάλη, 1994).

³ Αργά κύματα που προκύπτουν σε περιστρεφόμενα ρευστά. Είναι επίσης γνωστά ως "Πλανητικά Κύματα" και βρίσκονται σε πολλά μεγάλα, περιστρεφόμενα σώματα, όπως η Γη, οι ωκεανοί, η ατμόσφαιρα μας, ο πλανήτης Δίας και ο Ήλιος.

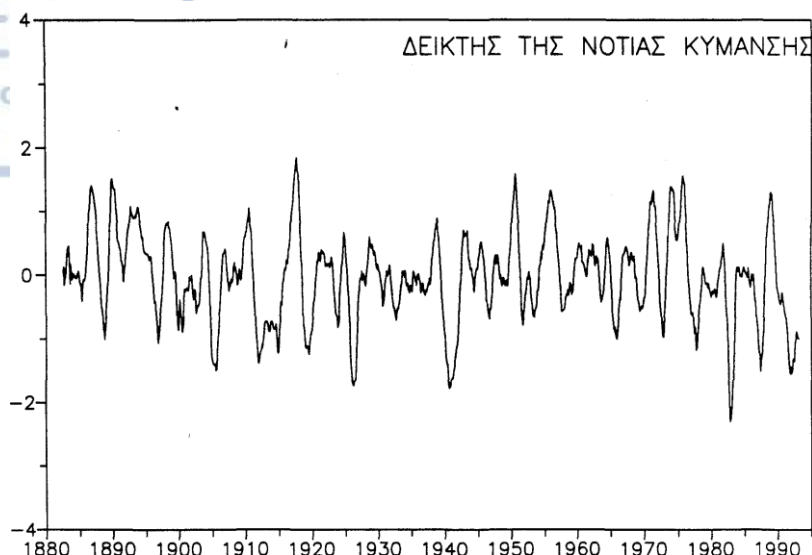
2.5. Ο Δείκτης της Νότιας Κύμανσης (SO)

Καθώς οι μελέτες πάνω στο φαινόμενο ENSO ολοένα και αυξάνονταν, καθιερώθηκαν από τους ερευνητές μεταβλητές που θα μπορούσαν να περιγράψουν όσο το δυνατόν καλύτερα τη Νότια Κύμανση και τις επιδράσεις της σε μέρη του πλανήτη αρκετά απομακρυσμένα μεταξύ τους. Οι δείκτες της κύμανσης που δημιουργήθηκαν αποτελούνται από την σύνθεση χρονοσειρών διαφόρων ατμοσφαιρικών παραμέτρων, όπως για παράδειγμα της πίεσης, της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και άλλες (Τουρπάλη, 1994).

Αρχικά, σαν πρώτοι αξιόπιστοι δείκτες χρησιμοποιήθηκαν χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στην περιοχή του Ειρηνικού ωκεανού, στη ζώνη των τροπικών. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν κι άλλες παράμετροι, όπως ο ζωνικός άνεμος στα 850 mb, η θερμοκρασία των 500 mb σε περιοχές του Ειρηνικού κλπ. Στις μέρες μας, χρησιμοποιούνται δύο δείκτες, οι οποίοι συνθέτουν τον Δείκτη SO της Νότιας κύμανσης και είναι ευρύτερα αποδεκτοί για την περιγραφή του φαινομένου:

- Η θερμοκρασία επιφάνειας της θάλασσας (SST), υπολογισμένη σε χαρακτηριστικές περιοχές του τροπικού Ειρηνικού, όπου τα φαινόμενα του El Nino εμφανίζουν μεγάλη δυναμική.
- Η διαφορά της πίεσης επιφανείας μεταξύ της Ταϊτής και του Darwin στην Αυστραλία. Μελετώντας και υπολογίζοντας τη διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο αυτών περιοχών γίνεται άμεσα ευδιάκριτη η κυματική φύση της Νότιας Κύμανσης, έχοντας την μορφή ανταλλαγής αερίων μαζών μεταξύ ανατολικού και δυτικού ημισφαιρίου. Χρησιμοποιώντας τις κανονικοποιημένες αποχές από τη μέση τιμή της πίεσης επιφανείας για την κάθε μια περιοχή, υπολογίζεται η διαφορά τους, η οποία αποτελεί το Δείκτη της Νότιας Κύμανσης (Southern Oscillation Index) ή αλλιώς Δείκτη SO (Τουρπάλη, 1994).

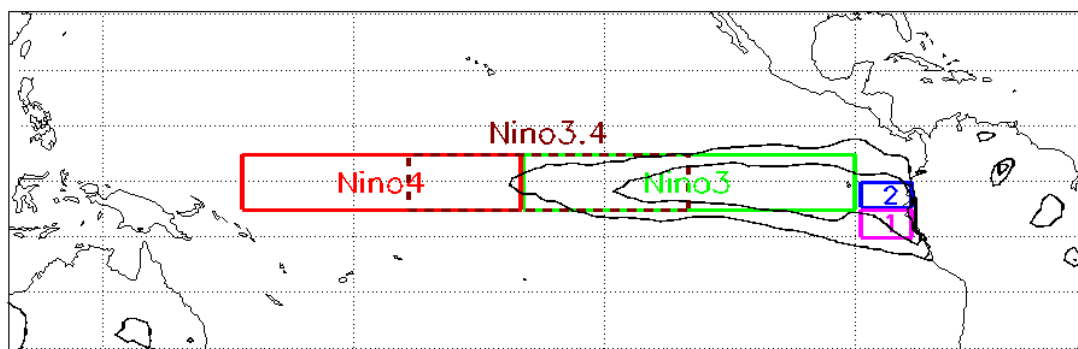
Παρακάτω παρατίθεται η χρονοσειρά του Δείκτη SO του φαινομένου ENSO για την χρονική περίοδο 1880-1990 (βλ. σχήμα 2.7), ο οποίος δείκτης στο επόμενο κεφάλαιο θα αποτελέσει μέτρο σύγκρισης για τις επιδράσεις του φαινομένου και των επεισοδίων του σε διάφορα ατμοσφαιρικά στρώματα για την δεκαετία 1980-1990, μια δεκαετία όπου εμφανίζονται από τα ισχυρότερα θερμά και ψυχρά γεγονότα.



Σχήμα 2.7: Ο Δείκτης της Νότιας Κύμανσης (Τουρπάλη, 1994).

2.5.1. Επιπλέον δείκτες και κατηγοριοποίηση του El Nino

Η έκταση της τροπικής ζώνης του Ειρηνικού ωκεανού είναι τεράστια και αναπόφευκτα, η συμπεριφορά των φαινομένων δεν γίνεται να είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκταση του τροπικού Ειρηνικού κατά την ίδια χρονική στιγμή. Όπως έχει αναφερθεί, υπάρχουν πολλές περιοχές που έχουν επισημανθεί ως σημαντικές για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση των φαινομένων El Nino και La Nina. Γι' αυτό το λόγο, οι επιστήμονες που μελετούν το φαινόμενο το χώρισαν γεωγραφικά σε κατηγορίες, δίνοντας κι από ένα δείκτη που βασίζεται κυρίως στη μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SST) (σχήμα 2.8).



Σχήμα 2.8: Λοιποί δείκτες El Nino (Connolley & Lachlan-Cope, 2006).

Nino 1-2. Καλύπτει την περιοχή που εκτείνεται από 0° έως 10° νότια του Ισημερινού και από 80° έως 90° δυτικού πλάτους. Είναι η περιοχή που συνήθως θερμαίνεται πρώτα όταν αναπτύσσεται ένα επεισόδιο El Nino.

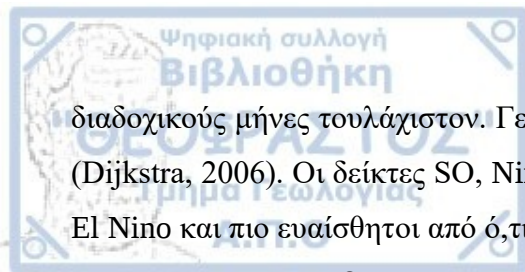
Nino 3. Η περιοχή δράσης του είναι από τις 150° έως 90° δυτικού γεωγραφικού μήκους και 5° νότιο έως 5° βόρειο γεωγραφικό πλάτος. Αποτελεί την περιοχή του τροπικού Ειρηνικού που έχει τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα στην θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας στις χρονοσειρές του El Nino.

Nino 3-4. Καλύπτει την περιοχή που εκτείνεται ανάμεσα στους παραλλήλους 5° νότιο έως 5° βόρειο γεωγραφικό πλάτος και στους μεσημβρινούς 120° έως 170° δυτικού μήκους. Αποτελεί την περιοχή που έχει μεγάλη μεταβλητότητα στις χρονοσειρές του El Nino, και είναι πιο κοντά απ' ότι η Nino 3 προς την περιοχή όπου οι αλλαγές στην τοπική θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας είναι σημαντικές για τη μετατόπιση των βροχοπτώσεων μιας μεγάλης περιοχής που συνήθως βρίσκεται στο δυτικό Ειρηνικό.

Nino 4. Εμφανίζεται στην περιοχή που ορίζουν οι παράλληλοι 5° νότιο και 5° βόρειο γεωγραφικό πλάτος και οι μεσημβρινοί 160° ανατολικού και 150° δυτικού μήκους. Αποτελεί την περιοχή όπου οι μεταβολές στην SST οδηγούν σε θερμοκρασίες περίπου των 27,5 °C, η οποία εκτιμάται ως οριακή τιμή στην παραγωγή των βροχοπτώσεων (Hanley, 2003).

Οι περιοχές αυτές επελέγησαν εν μέρει για λόγους ευκολίας λαμβάνοντας υπόψη τις τροχιές πλοίων από τα οποία προήλθαν τα δεδομένα SST. Κάθε περιοχή Nino αντιπροσωπεύεται κι από τον αντίστοιχο δείκτη μεταβολών. Η φάση Nino 1-2 αντικατοπτρίζει την παράκτια SST στη Νότια Αμερική, όπου το ENSO έχει μεγάλες οικονομικές επιπτώσεις. Οι Nino 3 και Nino 4 καλύπτουν τις μεγαλύτερες περιφέρειες που βρίσκονται στον ανατολικό και κεντρικό Ειρηνικό στη ζώνη του Ισημερινού (Barnston, 1997). Σε ότι αφορά στην ευρύτερη παγκόσμια κλιματική μεταβλητότητα, η περιοχή Nino 3 - 4 προτιμάται, γιατί η διακύμανση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας στη συγκεκριμένη περιοχή έχει την ισχυρότερη επίδραση στη μετατόπιση των βροχοπτώσεων στο δυτικό Ειρηνικό.

Αναλυτικότερα, όταν ο δείκτης Nino 3 είναι υψηλός για μια περίοδο τότε αυτή χαρακτηρίζεται ως περίοδος El Nino και όταν ο δείκτης είναι χαμηλός τότε η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται La Nina, αντίστοιχα (Dijkstra, 2006). Επί του θέματος, ο Wang (1999) τονίζει ότι για να οριστεί ποσοτικά το El Nino απαιτείται ο δείκτης Nino 3 να είναι μεγαλύτερος από +0,5°C για 5



διαδοχικούς μήνες τουλάχιστον. Γενικά περίοδοι με υψηλό δείκτη Nino 3 έχουν χαμηλό δείκτη SO (Dijkstra, 2006). Οι δείκτες SO, Nino 3-4 και Nino 4 είναι σχεδόν εξίσου ευαίσθητοι στα επεισόδια El Nino και πιο ευαίσθητοι από ό,τι οι δείκτες Nino 1-2 και Nino 3. Ο δείκτης Nino 1-2 έχει μεγάλη απόκριση στα επεισόδια La Nina (Hanley, 2003).

3.1. Επίδρασεις των επεισοδίων στον τροπικό Ειρηνικό

Όπως έχει γίνει αντιληπτό από το προηγούμενο κεφάλαιο, το επίκεντρο δράσης των επεισοδίων ENSO βρίσκεται στον Ειρηνικό ωκεανό, στην ευρύτερη περιοχή των τροπικών. Από μελέτες που έγιναν, κυρίως τον προηγούμενο αιώνα, αντλήθηκαν πληροφορίες για την επίδραση των φαινομένων της κύμανσης με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην επιρροή τους στη μέση ετήσια θερμοκρασία. Παρακάτω αναφέρεται πιο εμπεριστατωμένα μέσω σχημάτων η δράση τους, με τη βοήθεια έρευνας που έγινε από την Τουρπάλη (1994).

Στην έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκαν ως στοιχεία οι μέσες μηνιαίες τιμές γεωδυναμικών υψών για την δεκαετία 1980-1990. Τα στοιχεία αυτά ξεκινούν από γεωδυναμικό ύψος κοντά στα 24 km, που αντιστοιχεί στα 30 mb και φτάνουν μέχρι τη στρατόπαυση σε ύψος που αντιστοιχεί σε ατμοσφαιρική πίεση 0,4 mb. Σε κάθε σημείο του πλέγματος μελέτης έγινε χρήση του πάχους διαφορετικών ατμοσφαιρικών στρωμάτων (1000-500 mb, 500-300 mb, 300-100 mb και 100-50 mb), έτσι ώστε να εξετασθεί η επιφάνεια και η κατώτερη τροπόσφαιρα (1000-500 mb), η μέση και η ανώτερη τροπόσφαιρα (500-300 mb), το μεταβατικό στρώμα μεταξύ τροπόσφαιρας και στρατόσφαιρας, μαζί με την τροπόπαυση (300-100 mb) και τέλος η κατώτερη στρατόσφαιρα (100-50 mb).

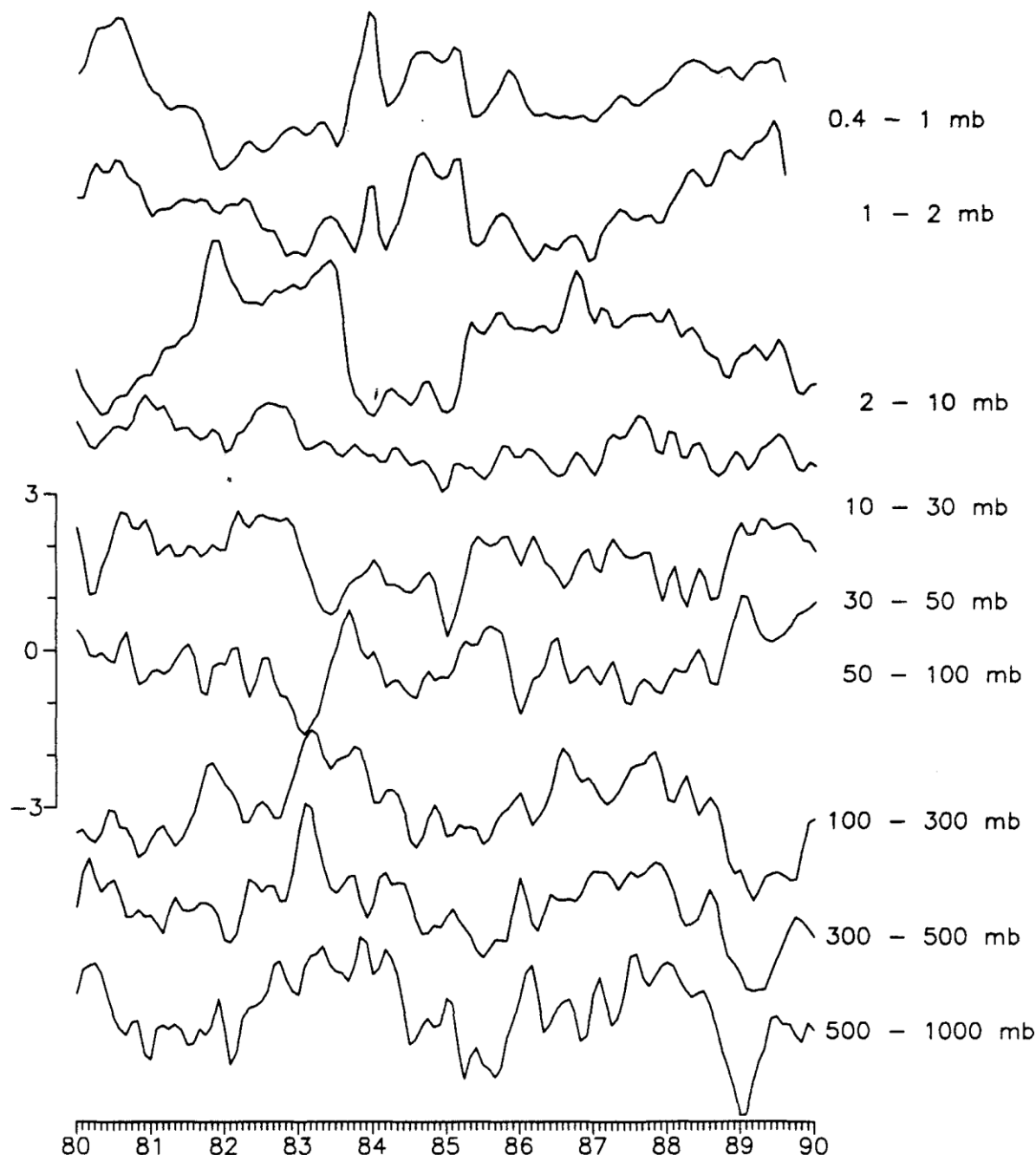
Επιπλέον, υπολογίστηκαν και τα πάχη των ατμοσφαιρικών στρωμάτων μέχρι το ανώτατο διαθέσιμο επίπεδο των 0,4 mb, δηλαδή χωρίστηκαν ατμοσφαιρικά στρώματα ως εξής: 50-30 mb, 30-10 mb, 10-2 mb, 2-1 mb, και 1-0,4 mb (Τουρπάλη, 1994). Αξίζει να αναφερθεί ότι για την μελέτη χρειάστηκε να απομονωθούν τα φαινόμενα της Νότιας Κύμανσης απ' αυτά της σχεδόν διετούς κυμάνσεως⁴ (QBO) ώστε να αναγνωριστεί καλύτερα η επίδραση του ENSO.

Στο σχήμα 3.1, που παρατίθεται ακολούθως, διακρίνεται η επίδραση των επεισοδίων της κύμανσης στην θερμοκρασία, στο βόρειο ημισφαίριο στην περιοχή του τροπικού Ειρηνικού. Στην τροπόσφαιρα, μέχρι και την τροπόπαυση, η οποία στις 20° B βρίσκεται κοντά στα 100 mb, διακρίνονται δύο θερμά επεισόδια El Nino, αυτά του 1982-83 και του 1986-87. Τα επεισόδια αυτά

⁴ Η σχεδόν διετής κύμανση, QBO, είναι μια σχεδόν περιοδική, σχεδόν διετής κύμανση των ισημερινών ζωνικών ανέμων. Συγκεκριμένα πρόκειται για ημπεριοδική εναλλαγή ισημερινών ανατολικών και δυτικών ζωνικών ανέμων στην τροπική στρατόσφαιρα με μια μέση περίοδο 28 έως 29 μήνες.

είναι άξια αναφοράς και ξεχωρίζουν από τα υπόλοιπα, καθώς προκάλεσαν εμφανή αύξηση της θερμοκρασίας, όπως αντίθετα και το ψυχρό επεισόδιο La Nina του 1988-89 που μείωσε ριζικά τη θερμοκρασία. Από τα 100 mb και πάνω, η επίδραση της Νότιας κύμανσης αντιστρέφεται. Τα επεισόδια El Nino ελαττώνουν την θερμοκρασία, ενώ το La Nina του 1988-89 προκάλεσε αύξηση. Οι μεταβολές αυτές είναι εμφανείς μέχρι και τα 10 mb.

Στα αμέσως ανώτερα στρώματα, το σήμα της κύμανσης δεν είναι τόσο καθαρό, με αποτέλεσμα να είναι πολύ δύσκολο να γίνει ο καθορισμός του στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι κατά το έτος 1984-85 μειώνεται η θερμοκρασία στην κατώτερη ατμόσφαιρα και αυξάνεται στην ανώτερη, χαρακτηριστικά που δηλώνουν έτος ψυχρού επεισοδίου. Το συγκεκριμένο έτος θεωρείται από ορισμένους ερευνητές, όπως ο Prinn (1993), έτος ψυχρού επεισοδίου (La Nina), κάτι όμως που δεν είναι αποδεκτό από τους περισσότερους (Τουρπάλη, 1994).



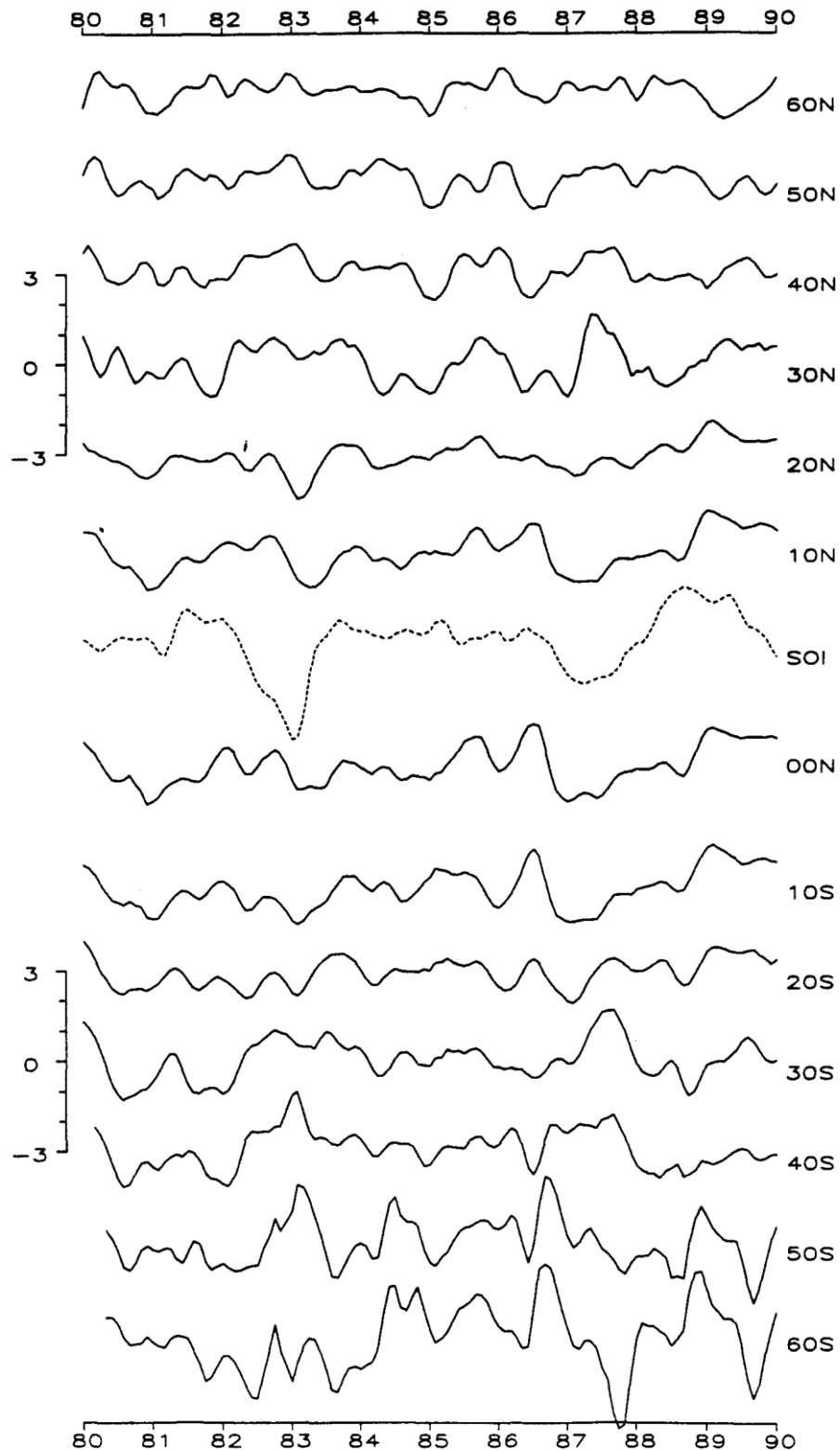
Σχήμα 3.1: Η επίδραση της Νότιας Κύμανσης στη μέση θερμοκρασία ατμοσφαιρικών στρωμάτων μέχρι τη στρατόπαυση στη ζώνη των τροπικών για την δεκαετία 1980-1990. (Τουρπάλη, 1994).

Στην προηγούμενη παράγραφο εξετάστηκε η επίδραση καθ' ύψος της Νότιας Κύμανσης μέχρι τα ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα στην περιοχή του τροπικού Ειρηνικού, όπου δεν υπάρχει μεταβολή του σήματος με το γεωγραφικό μήκος. Στις επόμενες παραγράφους θα εξεταστεί η επίδραση των φαινομένων του ENSO κατά γεωγραφικό πλάτος στα ατμοσφαιρικά στρώματα των 50-100 mb, 100-300 mb, 300-500 mb και 500-1000 mb, και πιο συγκεκριμένα κατά μήκος του

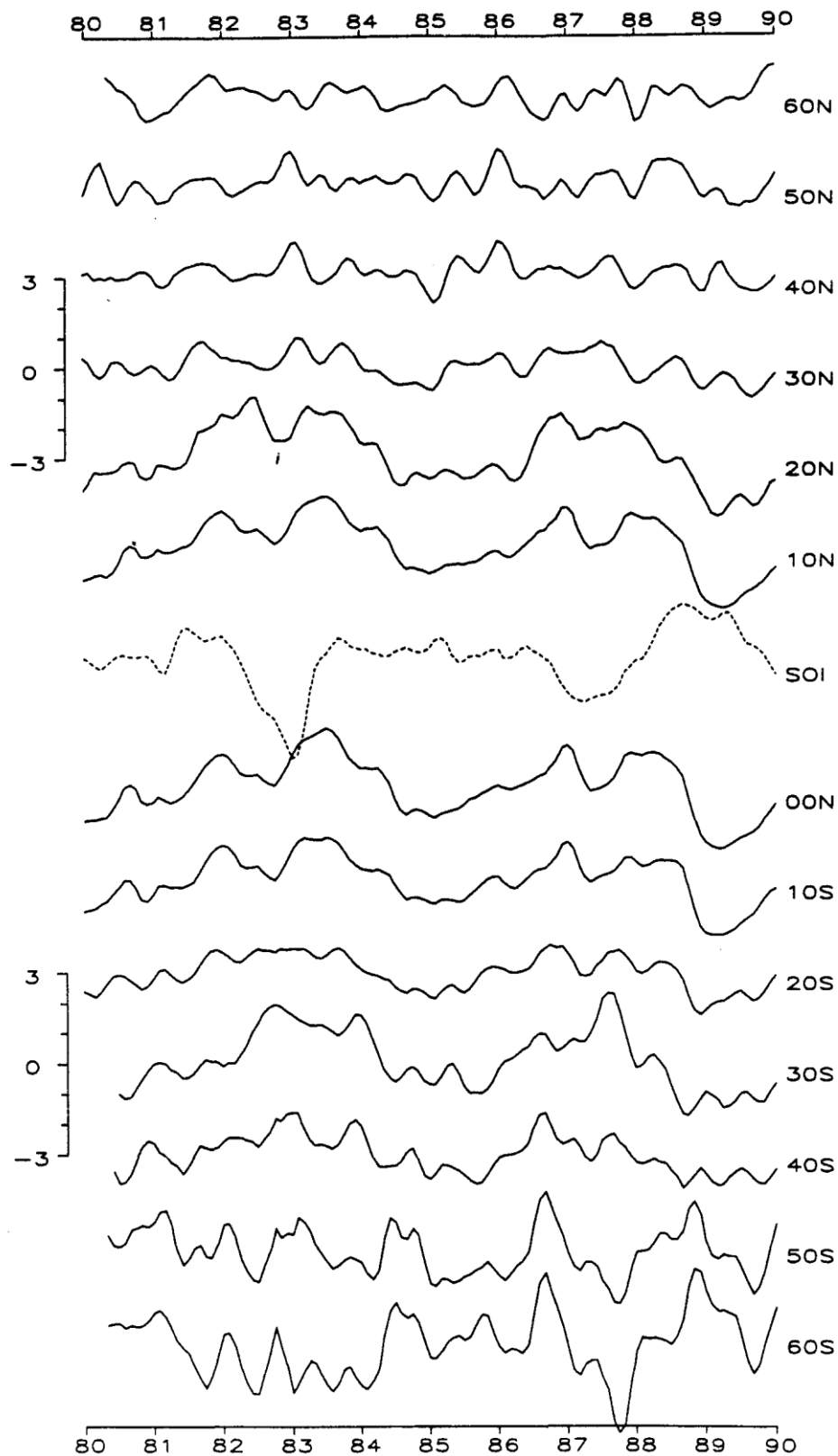
μεσημβρινού 155° Δ για την ίδια δεκαετία (1980-1990). Ακολουθεί μια σειρά διαδοχικών σχημάτων που παρουσιάζουν τις επιδράσεις της κύμανσης στα παραπάνω ατμοσφαιρικά στρώματα, συγκριτικά πάντα με το Δείκτη της Νότιας Κύμανσης SO.

Στο σχήμα 3.2 διακρίνεται η επίδραση της Νότιας Κύμανσης στη θερμοκρασία στο στρώμα 100-50 mb της κατώτερης στρατόσφαιρας. Στο σχήμα παρουσιάζεται και ο Δείκτης SO της Νότιας Κύμανσης με διακεκομμένη γραμμή. Μέχρι τις 20° B και N γεωγραφικό πλάτος, η επίδραση του ENSO παρουσιάζει ίδιο σήμα με τον Δείκτη SO. Ο Δείκτης είναι σε χαμηλά επίπεδα, συνεπώς πρόκειται για εμφάνιση θερμού επεισοδίου El Nino. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη θέρμανση της τροπόσφαιρας, την ελάττωση του πάχους της στρατόσφαιρας και τη μείωση της θερμοκρασίας. Συνεπώς εμφανίζεται αντίθετο σήμα ως προς τα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα. Άξιο αναφοράς είναι, ότι μελετάται η περιοχή γεωγραφικού πλάτους μεταξύ 10° - 20° B και N, διότι σε εκείνη την περιοχή το σήμα της Νότιας Κύμανσης εμφανίζει την μεγαλύτερη επίδραση. Αυτό συμπίπτει και με το σχήμα 2.6 του προηγούμενου κεφαλαίου, όπου τα κέντρα του αντικυκλωνικού ζεύγους που δημιουργείται στον Ειρηνικό, βρίσκονται ενδιάμεσα του ισημερινού, ώστε στις 0° να υπάρχει πλήρης ισοστάθμιση των μεταβολών που προκαλούνται.

Προχωρώντας προς μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη αντιστρέφεται το σήμα της Νότιας Κύμανσης και από τις 30° B και N η επίδραση της παρουσιάζεται με όμοιο σήμα όπως στην τροπόσφαιρα. Ο Δείκτης SO παραμένει χαμηλός, όμως το πάχος της στρατόσφαιρας αυξάνεται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η θερμοκρασία (Τουρπάλη, 1994).



Σχήμα 3.2: Η επίδραση της Νότιας Κύμανσης στη μέση θερμοκρασία του στρώματος 100-50 mb (Τουρπάλη, 1994).

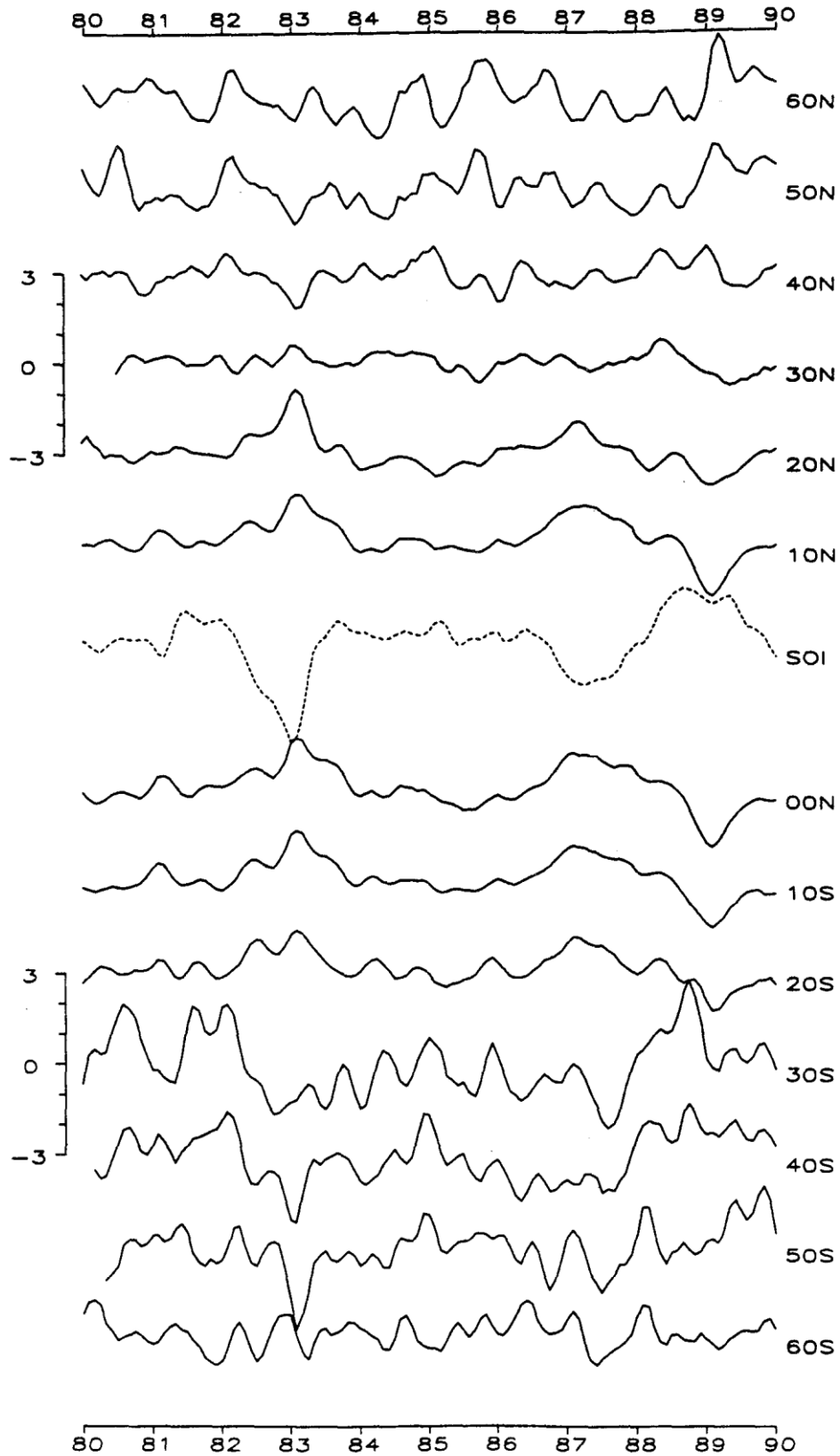


Σχήμα 3.3: Η επίδραση της Νότιας Κύμανσης στη μέση θερμοκρασία του στρώματος 300-100 mb
(Τουρπάλη, 1994).

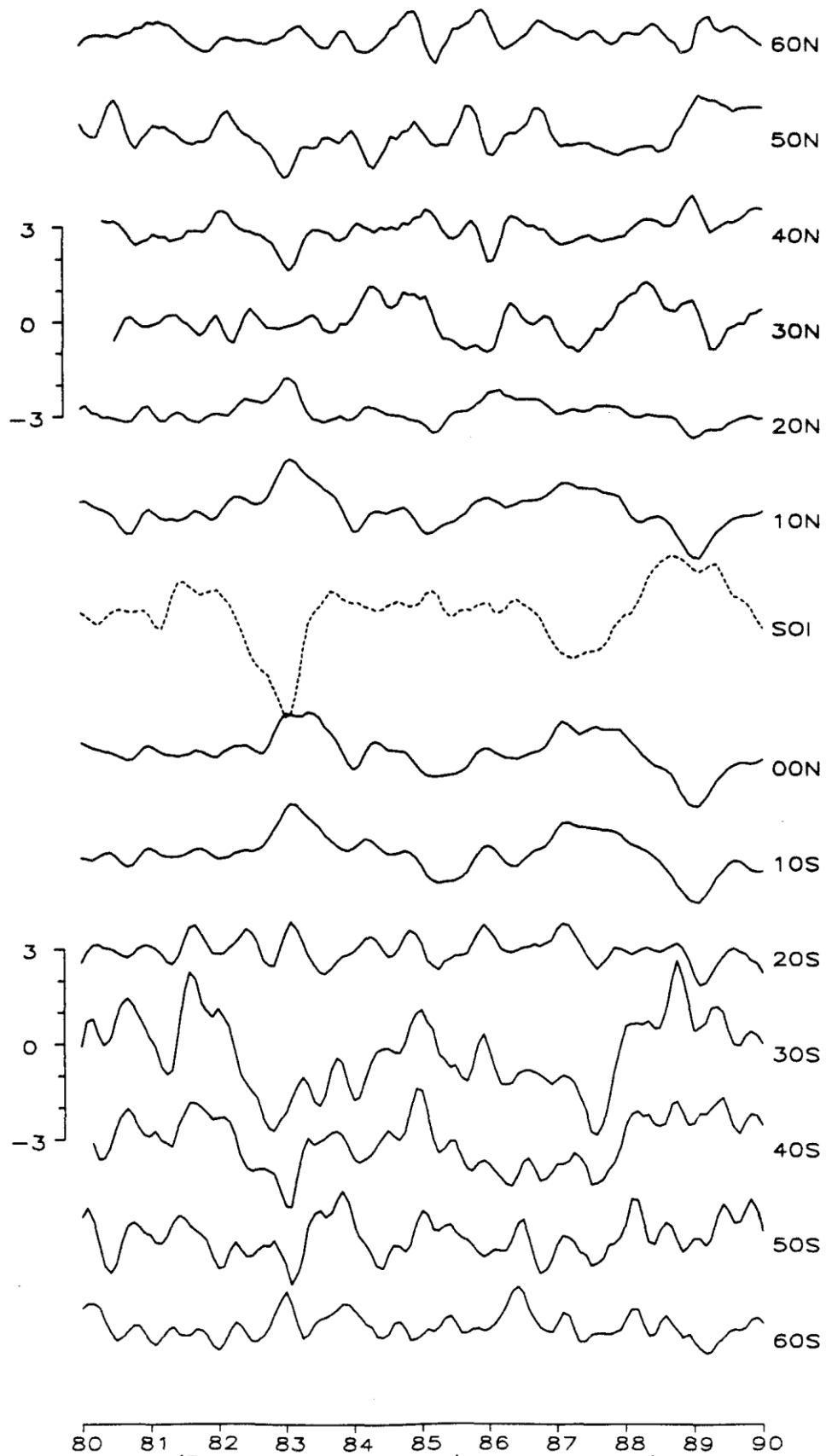
Στο σχήμα 3.3 διακρίνεται η επίδραση των επεισοδίων της Νότιας Κύμανσης στη θερμοκρασία στο μεταβατικό στρώμα 300-100 mb μεταξύ τροπόσφαιρας και στρατόσφαιρας. Μεταξύ 20° B και 30° N παρατηρείται επίδραση αντίστροφου σήματος με τον Δείκτη SO. Η επίδραση αυτή οδηγείται σε μείωση στις 20° N, ενώ αυξάνεται ξανά στις 30° N. Το σήμα είναι επίσης ευδιάκριτο στις 40°, 50° και 60° N. Στα δύο τελευταία σημεία γίνεται αντιληπτή η αντιστροφή του σήματος, κυρίως στις 60°, όπου τα θερμά επεισόδια παρουσιάζονται πολύ ισχυρά (Τουρπάλη, 1994).

Συνακόλουθα, το σχήμα 3.4 παρουσιάζει την επίδραση της Νότιας Κύμανσης στη θερμοκρασία του στρώματος 500-300 mb στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα. Η επίδραση του ENSO εμφανίζεται πολύ ισχυρή κατά μήκος όλου του μεσημβρινού (155° Δ), με εξαίρεση τις 60° B και N, περιοχή στην οποία και πάλι όμως είναι αισθητή. Μεταξύ τις 20° N και 30° B, η κύμανση κυριαρχεί και παρουσιάζεται αντίστροφη από τον ατμοσφαιρικό Δείκτη SO. Ο Δείκτης SO της κύμανσης εμφανίζεται χαμηλός, οπότε πρόκειται για επεισόδιο El Nino. Συνεπώς αυξάνεται το πάχος του στρώματος και παράλληλα αυξάνεται και η θερμοκρασία στον τροπικό Ειρηνικό. Από τις 40° B και τις 30° N και προς τους πόλους, το σήμα της αντιστρέφεται, με το θερμό επεισόδιο του 1982-83 να διακρίνεται πολύ καθαρά στο νότιο ημισφαίριο (Τουρπάλη, 1994).

Τέλος, το σχήμα 3.5 δείχνει την επίδραση της Νότιας Κύμανσης στη θερμοκρασία του στρώματος 1000-500 mb στην επιφάνεια και στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Η επίδραση αυτή κυριαρχεί στην περιοχή των τροπικών. Το σήμα της κύμανσης εμφανίζεται και σε αυτό το στρώμα αντίστροφο του σήματος του Δείκτη SO, από 30° B έως και 20° N. Προχωρώντας προς τους πόλους το σήμα αντιστρέφεται, όπως ακριβώς και στην τροπόσφαιρα. Παρ' όλα αυτά, η επίδραση του ENSO διακρίνεται ισχυρότερη στο στρώμα των 300-500 mb, στην ανώτερη τροπόσφαιρα (Τουρπάλη, 1994).



Σχήμα 3.4: Η επίδραση της Νότιας Κύμανσης στη μέση θερμοκρασία του στρώματος 500-300 mb (Τουρπάλη, 1994).



Σχήμα 3.5: Η επίδραση της Νότιας Κύμανσης στη μέση θερμοκρασία του στρώματος 1000-500 mb (Τουρπάλη, 1994).

3.2. Η επίδραση του ENSO σε παγκόσμια κλίμακα

Η Νότια Κύμανση έχει επιδράσεις σε παγκόσμια κλίμακα, παρ' όλο που τα κέντρα δράσης της βρίσκονται στους τροπικούς. Το ENSO είναι ο πιο σημαντικός κλιματικός κύκλος που συμβάλλει στην ετήσια μεταβλητότητα του καιρού και την πιθανότητα εκδήλωσης ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως ισχυρές βροχοπτώσεις, ξηρασίες και καταιγίδες. Παράλληλα, οι φυσικές καταστροφές έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία, καθώς επηρεάζουν τη συνοχή της υγειονομικής περίθαλψης λόγω ζημιών σε υποδομές ή λόγω μετατόπισης ιατρικών και πολιτικών προτεραιοτήτων. Μερικές μολυσματικές ασθένειες μπορεί να επιδεινωθούν από υποσιτισμό και γνωρίζουμε ότι οι συνθήκες πείνας συνδέονται συχνά με την ανθρώπινη μετανάστευση, κάτι που μπορεί να διευκολύνει ακόμα περισσότερο την εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών.

3.2.1. El Nino και φυσικές καταστροφές

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η περίοδος ξηρασίας είναι δύο φορές πιο συχνή το αμέσως επόμενο έτος της έναρξης του El Nino από ό,τι τα υπόλοιπα χρόνια. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος συγκεντρώνεται στη Νότια Αφρική και τη Νότια Ασία. Ωστόσο, καταστροφές δεν συμβαίνουν πάντα κατά τη διάρκεια του El Nino, απλά τότε είναι πολύ μεγάλη η μεταβλητότητα στις κλιματικές ανωμαλίες μεταξύ των φαινομένων. Για παράδειγμα, το 1997–98, η αναμενόμενη ξηρασία δεν συνέβη στην περιοχή της Νότιας Αφρικής και ορισμένες περιοχές δέχτηκαν πάνω από το μέσο όρο βροχόπτωσης. Επίσης, το 1992 ο λιμός απετράπη μετά από τη σοβαρή ξηρασία στη Νότια Αφρική, παρόλο που τα ποσοστά αποτυχίας των καλλιεργειών έφτασαν το 80% σε ορισμένες περιοχές, χάρη στην συνεργασία της περιφέρειας και στην εξωτερική βοήθεια που επέτρεψε την αγορά και τη διανομή δημητριακών για να αποτρέψουν την καταστροφή.

Η επίδραση του El Nino στις καταστροφές είναι αρκετά ισχυρή ώστε να είναι εμφανής παγκοσμίως. Σε ένα μέσο έτος El Nino, περίπου 35 ανά 1000 άτομα επηρεάζονται από κάποια φυσική καταστροφή, ποσοστό κατά τέσσερις φορές μεγαλύτερο σε σχέση με τα χρόνια δίχως El Nino, βάσει δεδομένων 30 ετών (1963–1993). Αυτή η διαφορά είναι πολύ πιο αισθητή όταν αναφερόμαστε σε περιόδους λιμού. Το αποτύπωμα μιας παγκόσμιας καταστροφής εξαιτίας του El Nino καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις συνέπειες που αποφέρουν οι ξηρασίες.

Ορισμένοι μεγάλοι λιμοί έχουν συνδεθεί με επεισόδια El Nino, όπως το φαινόμενο του 1876–78 συνδέθηκε με «την πιο καταστροφική ξηρασία που έχει γνωρίσει ποτέ ο κόσμος» καθώς έπληξε Κίνα, Ινδία, Νότια Αφρική, Αίγυπτο, Αιθιοπία, Σουδάν, Ιάβα και Βραζιλία. Στην Ινδία, τουλάχιστον

7 εκατομμύρια άνθρωποι πέθαναν παρά την παρουσία ενός σύγχρονου σιδηροδρομικού δικτύου και την παροχή εκατομμυρίων τόνων σιτηρών σε εμπορική κυκλοφορία.

Επιπλέον, η σχέση μεταξύ El Nino και έντονης βροχόπτωσης είναι ισχυρή σε πολλές περιοχές. Κατά τη διάρκεια των φαινομένων του 1982-83 και του 1997-98, έντονες βροχές και πλημμύρες προκάλεσαν εκατοντάδες θανάτους στο Περού, την Κολομβία, τον Ισημερινό και τη Βολιβία. Οι θάνατοι που σχετίζονται με τις πλημμύρες συνδέονται επίσης έντονα με τον Δείκτη SO της Νότιας Κύμανσης σε περιοχές της Αυστραλίας. Σε παγκόσμια κλίμακα όμως, το ENSO δεν σχετίζεται με τον κίνδυνο καταστροφών από πλημμύρες, επειδή οι πλημμύρες είναι αρκετά τοπικά καθορισμένες, αλλά έχει παρατηρηθεί ότι ο κίνδυνος αυξάνεται κατά τη διάρκεια εκδήλωσης τόσο του El Nino όσο και του La Nina, σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Οι τυφώνες στην Καραϊβική, τον κόλπο του Μεξικού και στα ανοικτά των ακτών της Βόρειας Αυστραλίας είναι λιγότερο συχνόι από τους καθιερωμένους κατά τη διάρκεια του El Nino, αλλά πιο συνηθισμένοι κατά τη διάρκεια του La Nina. Ωστόσο, οι τυφώνες είναι πιο πιθανό να εμφανιστούν κοντά στα νησιά Μάρσαλ, στον Ειρηνικό ωκεανό, κατά τη διάρκεια ενός θερμού επεισοδίου El Nino παρά σε άλλες στιγμές, επειδή τα ίχνη των καταιγίδων στον Ειρηνικό μετατοπίζονται προς τα δυτικά για όσο διαρκεί η περίοδος του φαινομένου. Για τα μικρά νησιά του Ειρηνικού που παρεμβάλλονται αυτής της πορείας προς τα δυτικά, η μετατόπιση των ρευμάτων είναι ζήτημα ιδιαίτερης σημασίας.

Εποχιακές προβλέψεις για το κλίμα χρησιμοποιούνται σήμερα για να μετριάσουν οι επιπτώσεις της ξηρασίας και των πλημμυρών που σχετίζονται με τα φαινόμενα του ENSO. Οι κλιματολογικές αυτές προβλέψεις συνδυάζονται με άλλους δείκτες, όπως δορυφορικά δεδομένα και τις τιμές των τροφίμων, για την παροχή πρόωρης προειδοποίησης για λιμό. Οι προβλέψεις για El Nino θα μπορούσαν να παρέχουν προειδοποιητικές οδηγίες ώστε να αποφευχθούν το συντομότερο δυνατό φυσικές καταστροφές που συνδέονται με πλημμύρες και ξηρασία. Επιπρόσθετα, η επίδραση του ENSO στον κλάδο της γεωργίας και τις καιρικές καταστροφές είναι τέτοια που οι παγκόσμιες χρηματοπιστωτικές αγορές και η ασφαλιστική βιομηχανία λαμβάνουν πλέον υπόψιν τις εποχικές κλιματολογικές προβλέψεις. Για παράδειγμα, εποχικές κλιματολογικές προβλέψεις 3-6 μηνών χρησιμοποιούνται από αγρότες στην Αυστραλία και τη Νότια Αμερική ώστε να οργανώσουν πρόωρα τη φύτευση καλλιεργειών ανθεκτικών στην ξηρασία, όταν αναμένονται ξηρότερες συνθήκες El Nino.

3.2.2. Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα

Η περιοχή μεταξύ Περού, Χιλής και νήσων Γκαλαπάγκος αποτελεί μια από τις πλουσιότερες θαλάσσιες περιοχές του κόσμου όσον αφορά τα θαλάσσια είδη (Leth , 2003). Ο λόγος είναι ότι τα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά βαθιά νερά, μεταφέρονται με τη βοήθεια ΝΑ ανέμων, σε επίπεδα κοντά στην επιφάνεια (euphotic zone), όπου το πλαγκτόν τροφοδοτείται από αυτά τα θρεπτικά συστατικά. Στη συνέχεια, λαμβάνει δράση η μεταφορά Ekman⁵ όπου ωθεί την επιφάνεια του ζεστού νερού προς τα δυτικά, δημιουργώντας πέρασμα ώστε να ανέβουν τα κρύα ύδατα προς την επιφάνεια. Αναφέρεται ότι περίπου σε βάθος 40 μέτρων υπάρχει το θερμοκλινές, το οποίο αποτελεί το σύνορο μεταξύ των θρεπτικών συστατικών που συνήθως είναι φτωχά στα ζεστά επιφανειακά νερά με αυτών που είναι πλούσια στα βαθιά κρύα νερά. Με την εκδήλωση ενός φαινομένου El Nino, τα κύματα Kelvin⁶ που δημιουργούνται καθηλώνουν το θερμοκλινές σε μεγαλύτερο βάθος, με αποτέλεσμα να έρχονται στην επιφάνεια μόνο θερμά νερά, τα οποία είναι και φτωχά σε θρεπτικά συστατικά.

Όταν έρχονται αντιμέτωποι με τα θερμά νερά του El Nino, οι πληθυσμοί των ψαριών στα ανοικτά των ακτών του Περού προσπαθούν να περάσουν σε ψυχρότερες περιοχές, ώστε να ψάξουν για τροφή πλούσια σε θρεπτικά συστατικά. Κάποια ψάρια επιστρέφουν πίσω στην πρώτη κρύα και πλούσια σε θρεπτικά συστατικά περιοχή ανάβλυσης κοντά στην ακτή, αλλά με την περαιτέρω μείωση του θερμοκλινούς, είναι παγιδευμένα στα ζεστά και φτωχά σε θρεπτικά στοιχεία νερά και είτε αλιεύονται είτε πεθαίνουν από την πείνα ή την θερμότητα. Κάποια προσπαθούν να προχωρήσουν σε μεγαλύτερα βάθη, όπου το νερό είναι πιο κρύο, αλλά μετά βίας υπάρχει ικανοποιητικό απόθεμα σε θρεπτικές ουσίες, και μερικά μεταβαίνουν προς τα νότια, μένοντας κοντά στις ακτές της Χιλής, βοηθώντας έτσι κατά συνέπεια την τοπική αλιευτική βιομηχανία. Παράλληλα, η μείωση των πληθυσμών των ψαριών στην περιοχή του Περού έρχεται με την εισβολή των τροπικών ψαριών στην περιοχή, τα οποία ευνοούνται από τα θερμότερα νερά. Μερικά ψάρια που είναι εγγενή στην Καλιφόρνια, εμφανίστηκαν κοντά στο Όρεγκον και την πολιτεία της Ουάσιγκτον, ενώ κάποια ακόμη και στην Αλάσκα (Leth, 2003).

⁵ Ο άνεμος παρασύρει το επιφανειακό νερό με την τριβή που ασκεί στην επιφάνεια της θάλασσας. Η τριβή του ανέμου σε συνδυασμό με τη δύναμη Coriolis παρασύρουν τα νερά, και τα εκτρέπουν προς τα δεξιά στο βόρειο ημισφαίριο. Καθώς η κίνηση μεταδίδεται σε βάθος, το κάθε στρώμα παρασύρει με τριβή το επόμενο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή εκτροπή προς τα δεξιά της κίνησης των βαθύτερων στρωμάτων, με ταυτόχρονη εκθετική μείωση της ταχύτητας.

⁶ Είναι θερμές προσκρούσεις στον Ειρηνικό Ωκεανό. Διαμορφώνονται γύρω από την Ινδονησία και ταξιδεύουν προς τα ανατολικά, προς την Αμερική.

Μετά από τις επιπτώσεις του φαινομένου στα θαλάσσια οικοσυστήματα, αξίζει να γίνει αναφορά και στις επιπτώσεις του σε χερσαία οικοσυστήματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Περουβιανή έρημος και η έρημος Ατακάμα, οι οποίες προκαλούνται από το κρύο ρεύμα Humboldt⁷, που ρέει προς τα βόρεια. Το ρεύμα αυτό αναπτύσσει ομίχλη στη δυτική άκρη της οροσειράς, την λεγόμενη Λομάς (Lomas). Με την εκδήλωση El Nino αυτή η περιοχή αντιμετωπίζει έντονες βροχοπτώσεις, καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες του νερού και του αέρα οδηγούν σε σύννεφα και βροχές. Στον Ισημερινό και την Κολομβία, το ύψος των βροχοπτώσεων μπορεί να αυξηθεί 3 έως 20 φορές. Στις ερήμους, κοντά στην ακτή, εμφανίζονται λιγότερες βροχές, ενώ οι ξηρές κοίτες των ποταμών, ξαφνικά μετατρέπονται σε ταχεία ποτάμια, που μετά το El Nino διατηρούν ποσότητες γλυκού νερού μέχρι και 2 χρόνια, πριν τελικά ξερθούν και πάλι. Ακόμη και για περιοχές που δεν επηρεάζονται τόσο από βροχοπτώσεις, όπως η περιοχή κοντά στη Λίμα, η βλάστηση της Λομάς, που συνήθως είναι περίπου 5%, βρέθηκε να φθάνει ακόμα και το 89%. Από την άλλη πλευρά, σε χώρες όπως η Βολιβία και η Χιλή, η ακραία ξηρασία οδηγεί σε συρρίκνωση της βλάστησης, αναγκάζοντας τα βοοειδή να κινηθούν προς τον βορρά, προκαλώντας την μείωση της βλάστησης εκεί (Leth, 2003).

Άλλο παράδειγμα ακραίας ξηρασίας που προκαλείται από το El Nino εκδηλώνεται στην περιοχή του κεντρικού Παναμά. Το τροπικό δάσος που υπάρχει στην περιοχή, αντιμετωπίζει μια ξηρή περίοδο κάθε χρόνο από το Δεκέμβριο μέχρι τον Απρίλιο, αλλά αυτή η περίοδος, την χρονιά 1982-83 (όπως έχει αναφερθεί, περίοδος έντονου θερμού επεισοδίου), διήρκεσε πολύ περισσότερο. Αυτή η ξηρασία ήταν η πιο σοβαρή τα τελευταία 190 χρόνια. Το μέσο ύψος της βροχής μειώθηκε από 787 χιλιοστά σε 121 χιλιοστά και η μέση θερμοκρασία αυξήθηκε περίπου 3 °C. Αυτό είχε τεράστιες επιπτώσεις στη χλωρίδα. Η θνησιμότητα των δέντρων ήταν 5 φορές μεγαλύτερη από το κανονικό. Το 1985 ο κεντρικός Παναμάς κατάφερε να ανακάμψει από αυτή την παρατεταμένη ξηρασία. Ακόμη πιο σοβαρή ήταν η ξηρασία στο Βόρνεο, προς τα δυτικά του Ειρηνικού, όπου τα τροπικά δάση κατά κανόνα δεν έχουν να αντιμετωπίσουν μια ξηρή περίοδο. Η θνησιμότητα των δέντρων ήταν περίπου 25% και οι πυρκαγιές αφάνισαν το 90% των θάμνων. Η ανάκαμψη εκεί χρειάστηκε περισσότερο χρονικό διάστημα (Leth, 2003).

⁷ Το ρεύμα Humboldt είναι ψυχρό θαλάσσιο ρεύμα του Ειρηνικού Ωκεανού, που ρέει προς βορρά κατά μήκος της δυτικής ακτής από το νότιο άκρο της Χιλής μέχρι το βόρειο Περού. Είναι γνωστό και ως Ρεύμα του Περού, αν και εκτείνεται μέχρι και χίλια χιλιόμετρα μακριά από τις ακτές.

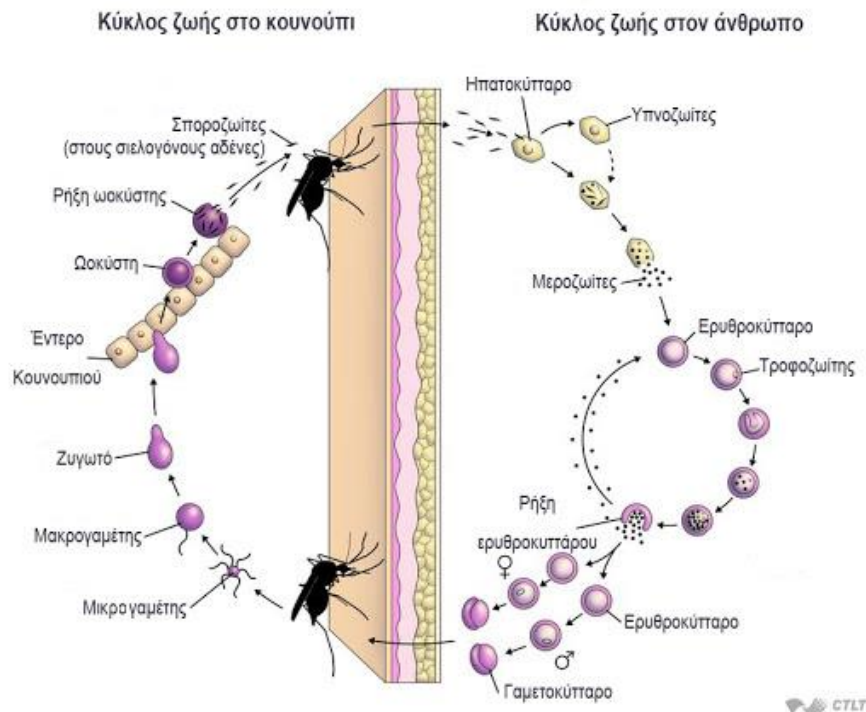
3.2.3. Επίδραση των φαινομένων στην υγεία

Συνεχίζοντας με τις επιδράσεις του ENSO στις φυσικές καταστροφές, μια ξηρασία μπορεί να προκαλέσει ανεξέλεγκτες δασικές πυρκαγιές. Κάθε φαινόμενο El Nino, τουλάχιστον από το 1982 και έπειτα, έχει συσχετιστεί με πυρκαγιές, οι οποίες έχουν συνέπειες στη δημόσια υγεία. Ο καπνός που παράγεται από τις δασικές πυρκαγιές, όταν έρχεται σε επαφή με τον άνθρωπο, δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στην υγεία του, προκαλώντας σημαντικές δυσλειτουργίες στο αναπνευστικό και καρδιολογικό του σύστημα. Αξιοσημείωτο παράδειγμα αποτελούν οι δασικές πυρκαγιές του 1997 στο σύμπλεγμα των νήσων της Ινδονησίας, Καλιμαντάν και Σουμάτρα, όπου ο καπνός επηρέασε τις γύρω περιοχές της Μαλαισίας, της Σιγκαπούρης, των Φιλιππίνων και της Νότιας Ταϊλάνδης. Ο καπνός από την καύση βιομάζας περιέχει ρύπους επιβλαβείς για την υγεία, συμπεριλαμβανομένων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm , ικανά να διεισδύσουν στους ανθρώπινους πνεύμονες. Ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις, παρατηρήθηκαν μικροσωματίδια που οφείλονται πολλές φορές σε αλλαγές στη λειτουργία των πνευμόνων, οδηγώντας σε αύξηση της αναπνευστικής και καρδιαγγειακής θνησιμότητας καθώς και της νοσηρότητας, συμπεριλαμβανομένου του άσθματος. Λεπτά σωματίδια μπορεί να φτάσουν στις κυψελίδες και εάν δεν αντιμετωπιστούν στους πνεύμονες, είτε εισχωρήσουν σε μεγάλες συγκεντρώσεις, μπορούν να εισέλθουν στην κυκλοφορία του αίματος ή να παραμείνουν στον πνεύμονα, οδηγώντας σε χρόνιες πνευμονοπάθειες.

Η μετάδοση πολλών μολυσματικών ασθενειών μπορεί να επηρεαστεί από τις καιρικές συνθήκες, ειδικά για παθογόνους μικροοργανισμούς που περνούν μέρος του κύκλου ζωής τους εκτός του ανθρώπινου σώματος. Παθογόνα που μεταφέρονται από τα έντομα εκτίθενται, με τους ξενιστές τους, στο περιβάλλον. Η μετάδοση ασθενειών που πραγματοποιείται μέσω ενός φορέα συνήθως εμφανίζεται μέσα σε εποχιακά μοτίβα, στα οποία ο ρόλος της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων φαίνεται ότι ασκεί σημαντική επίδραση. Κάποιες μεταδοτικές ασθένειες εμφανίζουν μεγάλη διακύμανση από έτος σε έτος, γεγονός που μπορεί επίσης να εξηγηθεί εν μέρει από μετεωρολογικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, η ικανότητα πρόβλεψης των περιόδων υψηλής είτε και χαμηλής μετάδοσης θα βοηθούσε σε μελλοντικές παρεμβάσεις του κλάδου της υγείας.

Αναλυτικότερα, χαρακτηριστικό παράδειγμα μολυσματικής ασθένειας που φαίνεται να επηρεάζεται από μετεωρολογικά φαινόμενα, αποτελεί η ελονοσία, που προκαλείται από το πρωτόζωο *Plasmodium* και, συγκεκριμένα, από τα είδη *P. falciparum* καθώς τα *P. vivax*, *P. ovale* και *P. malariae*. Προκειμένου, όμως, να κατανοηθεί ο τρόπος της μετάδοσης της παραπάνω ασθένειας, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στον κύκλο ζωής του παραπάνω παράσιτου. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο πρωτεύων ξενιστής και, ειδικότερα, συγκεκριμένα είδη κουνουπιών του γένους *Anopheles*, δύνανται να

μεταδώσουν μια ενεργό μολυσματική μορφή του παρασίτου, τον σποροζωίτη, σε έναν σπονδυλωτό ξενιστή, όπως ο άνθρωπος, που αποτελεί τον δευτερεύον ξενιστή του παρασίτου. Τα κουνούπια του γένους *Anopheles*, μέσω δήγματος, μεταδίδουν το πλασμώδιο, εισάγοντας το στην κυκλοφορία του αίματος και προωθώντας την αγενή αναπαραγωγή τους. Στη συνέχεια, παρατίθεται εικονικά ο κύκλος ζωής του πλασμωδίου που προκαλεί την ελονοσία.



Εικόνα 3.1 Ο κύκλος ζωής του πλασμωδίου που προκαλεί την ελονοσία (Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας).

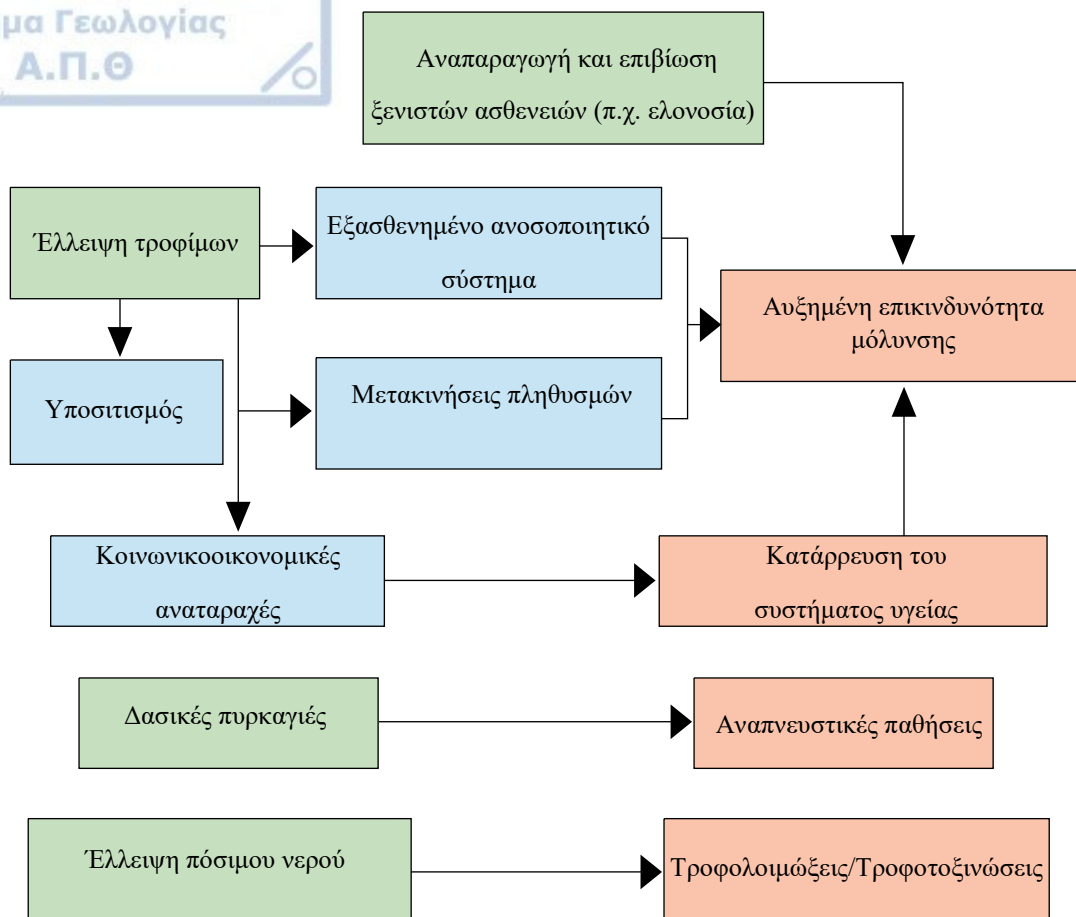
Η ελονοσία ενδημεί στις τροπικές και υποτροπικές ζώνες της Γης και, συγκεκριμένα, στη Κεντρική και Νότια Αμερική, Ωκεανία, Νοτιοανατολική Ασία και Μέση Ανατολή. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) υπολογίζει ότι το 50% περίπου του πληθυσμού της Γης απειλείται από τη νόσο, η οποία αποτελεί αιτία θανάτου για σχεδόν ένα εκατομμύριο ανθρώπους τον χρόνο. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, άτομα με υποκείμενα νοσήματα, παιδιά και έγκυες κρίνονται ιδιαίτερα επιρρεπείς στην εκδήλωση σοβαρής μορφής της νόσου, οδηγώντας σε σημαντικά μεγαλύτερα ποσοστά θνησιμότητας.

Συστηματικές παρατηρήσεις της γεωγραφικής κατανομής της ελονοσίας, οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι οι περιοχές που πλήττονται από την ελονοσία με τις μη-ελονοσιακές περιοχές βρίσκονται συχνά κοντά μεταξύ τους. Ως αποτέλεσμα αυτού, καθίσταται αντιληπτή η υψηλή επικινδυνότητα μετάδοσης και εντοπισμού της ελονοσίας στις περιοχές αυτές.

Η ελονοσία μαστιίζει τροπικές και υποτροπικές περιοχές εξαιτίας των βροχοπτώσεων, των σταθερά υψηλών θερμοκρασιών και της υψηλής υγρασίας, σε συνδυασμό με λιμνάζοντα νερά, στα οποία οι προνύμφες των κουνουπιών του γένους *Anopheles* εύκολα εκκολάπτονται, αφού βρίσκονται στο βέλτιστο περιβάλλον αναπαραγωγής τους. Σε ξηρές περιοχές, κρούσματα ελονοσίας έχουν προβλεφθεί με εύλογη ακρίβεια χάρη στη χαρτογράφηση των βροχοπτώσεων. Φυσικά, αυτό δε σημαίνει ότι δε παρατηρείται μετάδοση της ασθένειας σε ξηρές περιοχές, διότι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, υπάρχει αλληλοεπικάλυψη μεταξύ ελονοσιακών και μη-ελονοσιακών περιοχών. Η συγκεκριμένη διαπίστωση σε συνδυασμό με το ελλιπές σύστημα υγείας, τη συστηματική ανεπάρκεια ανθελονοσιακών φαρμάκων, όπως η χλωροκίνη και η υδρόξυχλωροκίνη, και την ακραία φτώχεια που χαρακτηρίζει τους πολίτες των αναπτυσσόμενων χωρών, καθιστά την ελονοσία μια μολυσματική ασθένεια τεράστιας επικινδυνότητας και υψηλής θνησιμότητας.

Ταυτόχρονα, εξετάζονται μελέτες που έχουν εντοπίσει συσχετίσεις μεταξύ του κλίματος και του κινδύνου ασθένειας με βάση το El Nino ή το La Nina. Πιο συγκεκριμένα, ελέγχθηκαν 21 αναφορές που εξετάζουν τη σχέση μεταξύ ENSO και μολυσματικών ασθενειών σε περισσότερες από 18 χώρες, χρησιμοποιώντας μια σειρά δεδομένων που αφορούν περισσότερα από ένα μετεωρολογικά φαινόμενα. Ειδικότερα, η ξηρασία δύναται να επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις αφενός σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο και αφετέρου στο σύστημα υγείας μιας χώρας. Πρόσφατα ερευνητικά δεδομένα υποστηρίζουν την αλληλένδετη σχέση μεταξύ της ξηρασίας και αναπνευστικών παθήσεων ή τροφιογενών ασθενειών. Η κατάσταση της υγείας των πολιτών των συγκεκριμένων χωρών τους καθιστά επιρρεπείς σε αυξημένη επικινδυνότητα μόλυνσης, όπως παρατίθεται σχηματικά παρακάτω.

Οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες διαπίστωσαν μια σημαντική σχέση μεταξύ μολυσματικών ασθενειών και του ENSO. Πλήθος ερευνητικών δεδομένων προερχόμενων από γεωγραφικές περιοχές, όπου το ENSO έχει μικρή ή μηδενική επίδραση ήταν η ελονοσία και ο πυρετός του Rift Valley στην Κένυα καθώς και ο δάγκειος πυρετός στην Μπανγκόκ. Οι ερευνητές αξιοποίησαν στοιχεία ενός φάσματος ασθενειών σε πολλές περιοχές, αλλά μερικές μελέτες αλληλεπικαλύπτουν πληροφορίες για τις ίδιες περιοχές. Τα πιο συχνά ευρήματα αποκαλύπτουν συσχέτιση μεταξύ του ENSO και της ελονοσίας στις παράκτιες περιοχές της Βενεζουέλας και της Κολομβίας, όπως και με στοιχεία για την επίδραση της μετάδοσης της χολέρας στο Μπαγκλαντές (Kovats, Bouma, Hajat, Worall, Haines, 2003).



Σχήμα 3.6: Δυνητικές επιπτώσεις της ξηρασίας στην υγεία των κατοίκων αναπτυσσόμενων χωρών (Kovats et al., 2003).

Βέβαια, είναι γεγονός ότι στον τομέα της υγείας οι κλιματολογικές προβλέψεις βρίσκονται ακόμα σε θεωρητικό επίπεδο. Ο προσδιορισμός των αιτιών συσχέτισης μεταξύ κλίματος και ασθενειών και η μετάφραση αυτών σε μια συνεκτική πολιτική για τη δημόσια υγεία παραμένει μια σημαντική πρόκληση.

3.3. Η μεταβολή του ENSO στην Ευρώπη

Όπως ήδη αναφέρθηκε σε αυτό το κεφάλαιο, το φαινόμενο της Νότιας Κύμανσης (ENSO) αποτελεί κυρίαρχο κλιματικό παράγοντα για υπερετήσιες μεταβολές σε παγκόσμια κλίμακα, κυρίως στο ποσό των κατακρημνισμάτων. Η μετατόπιση της κύμανσης προς τα ανατολικά, όμως, δεν μπορεί να προβλεφθεί με μεγάλη εγκυρότητα (Παρασκευόπουλος, 2015). Με τη βοήθεια μελετών, ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μεταβολή του ENSO στην Ευρώπη μπορεί να υπάρξει με βάση μόνο ισχυρών θερμών επεισοδίων El Nino και κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο.

Μιλώντας για μεταβολές, παρατηρήθηκε αύξηση της πίεσης στην περιοχή μεταξύ Ισλανδίας και Νορβηγίας και μείωση της στην κεντρική και δυτική Ευρώπη. Παράλληλα, το φαινόμενο El Nino σχετίστηκε με την ελάττωση της θερμοκρασίας στη Β. Ευρώπη. Επιπλέον, στα γεγονότα El Nino, τα μεσογειακά κυκλωνικά συστήματα μεταφέρονται βορειότερα, κάτι που επιδρά άμεσα στην βροχόπτωση. Στις περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο η βροχόπτωση αυξάνεται, ενώ στη Σκανδιναβία παρουσιάζει μείωση. Επίσης, μείωση της βροχόπτωσης γίνεται αντιληπτή στη ΒΔ Ευρώπη μετά και κατά τη διάρκεια ψυχρών επεισοδίων La Nina, ενώ αντίθετα για την ίδια ευρύτερη περιοχή παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης για θερμά επεισόδια El Nino (Bronnimann, 2006).

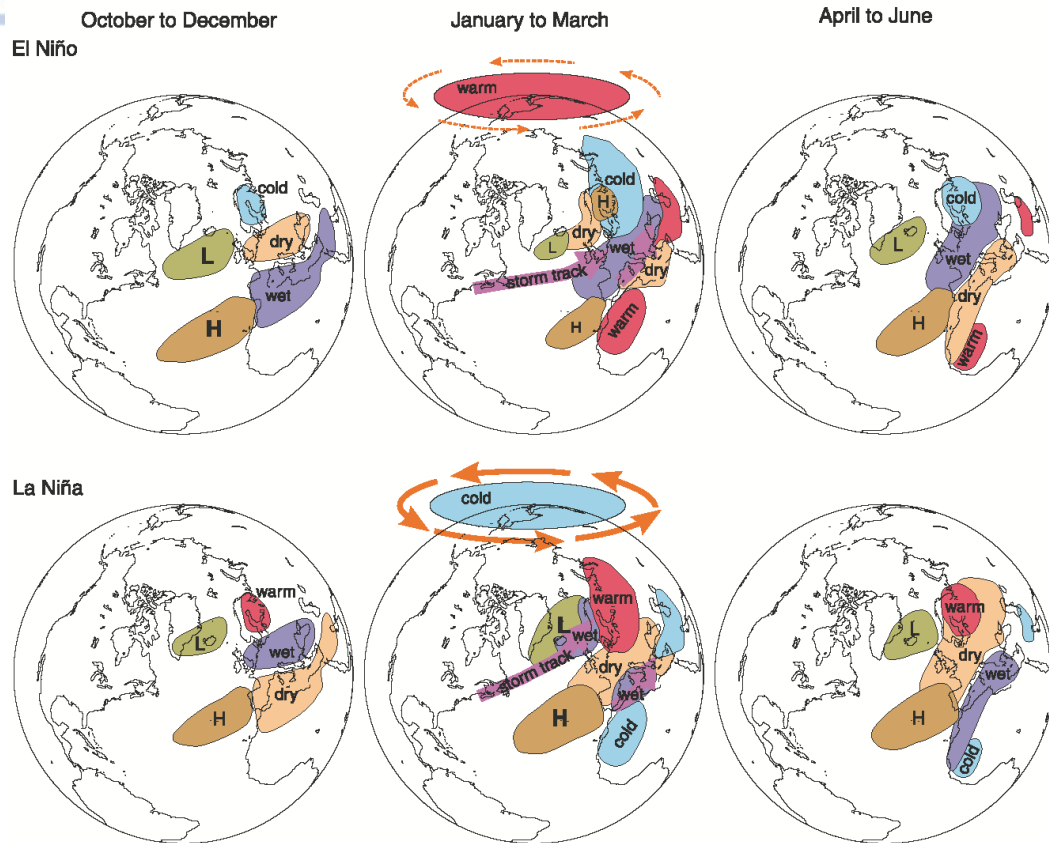
Σημειώνεται ότι, οι παραπάνω επιδράσεις του φαινομένου στην περιοχή της Ευρώπης δεν είναι αποδεδειγμένο ότι θα συμβούν αυτές καθ' αυτές μετά την δράση του. Έχουν πολύ πιο πολύπλοκη συμπεριφορά και δεν συναντώνται πάντα με τον ίδιο τρόπο. Οι μεταβολές αυτές φαίνεται ότι επηρεάζονται από διαφορετικές παραμέτρους, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν διάφορες ιδιαιτερότητες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι δεν εντοπίζεται καλοκαιρινή επίδραση του φαινομένου στη θερμοκρασία και την πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας, αλλά επηρεάζει σημαντικά τη βροχόπτωση στην περιοχή της Μεσογείου. Απ' την άλλη, τα επεισόδια La Nina έχουν την τάση να οδηγούν σε ξηρασία στις ΝΔ περιοχές της Ισπανίας και σε αυξημένη βροχόπτωση ανατολικότερα (Παρασκευόπουλος, 2015).

Μετά από μια σειρά ερευνών, επιστήμονες θεώρησαν ότι σε ισχυρά επεισόδια της Νότιας Κύμανσης, εξασθενεί ο πολικός στρόβιλος και αυξάνεται ραγδαία η θερμοκρασία στη στρατόσφαιρα, η οποία αύξηση δύναται να οφείλεται και σε ισχυρά επεισόδια La Nina. Η θέρμανση αυτή διαδίδεται στην τροπόπαυση και καταλήγει να επηρεάζει την επιφάνεια της Ευρώπης. Επίσης, εμφανίζονται διαφοροποιήσεις του σήματος της κύμανσης, τόσο στην ένταση όσο και στη θέση και τη χρονική στιγμή εμφάνισης του, που ξεκινάει από τον τροπικό Ειρηνικό και καταλήγει να επιδρά σε περιοχές της Ευρώπης.

Επιπλέον διαμόρφωση του σήματος της κύμανσης προέρχεται από τα δυτικά του Ειρηνικού και από περιοχές στη Ν. Ασία, ενώ μελέτες έδειξαν ότι η βροχόπτωση στη Μεσόγειο οφείλεται σε μικρό βαθμό και από τα ρεύματα κυκλοφορίας του Ινδικού ωκεανού. Εκεί που επικεντρώνεται όμως περισσότερο το ενδιαφέρον είναι στο πως επιδρά η σχεδόν διετής κύμανση (Quasi - Biennial Oscillation ή QBO) με το φαινόμενο ENSO και επηρεάζεται ο ευρωπαϊκός χώρος.

Γενικά, η επίδραση του ENSO στον πολικό στρόβιλο παρουσιάζεται ισχυρότερη με την QBO σε δυτική φάση παρά σε ανατολική. Πιο συγκεκριμένα, και παρατηρώντας το σχήμα 3.7, η ανατολική φάση της QBO οδηγεί σε εξασθένιση του πολικού στροβίλου κι έχει παρόμοια επίδραση με το El

Nino, σε αντίθεση με την δυτική φάση που ενισχύει τον πολικό στρόβιλο κι έχει όμοια επίδραση με το La Nina (Παρασκευόπουλος, 2015).



Σχήμα 3.7: Επίδραση του El Nino και του La Nina στον πολικό στρόβιλο και κατά συνέπεια στο κλίμα της Ευρώπης (Παρασκευόπουλος, 2015).

Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα

Το φαινόμενο El Nino δεν αποτελεί ένα πρόσφατα καταγεγραμμένο μετεωρολογικό επεισόδιο. Παρόμοιου βεληνεκούς φαινόμενα λαμβάνουν χώρα εδώ και εκατοντάδες χρόνια επηρεάζοντας σημαντικά την καθημερινή ζωή των πολιτών των χωρών που σημειώνονται. Με τον όρο El Nino γίνεται αναφορά σε εξαιρετικά ισχυρές και παρατεταμένες θερμές περιόδους των νερών του ανατολικού Ειρηνικού, που οι συνέπειές τους συσχετίζονται άμεσα με το παγκόσμιο κλίμα.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 ορίστηκε η σύνδεση μεταξύ της ατμοσφαιρικής Νότιας Κύμανσης και του ωκεάνιου φαινομένου El Nino, που πλέον συναντάται ως El Nino - Νότια Κύμανση (ENSO). Το ENSO λαμβάνει χώρα κατά μέσο όρο κάθε 4 - 5 χρόνια, αλλά κατά τη διάρκεια μιας περιόδου που ποικίλλει από 3 - 7 έτη. Τα δύο άκρα του ENSO αποτελούνται από το El Nino (θερμό επεισόδιο) και από το La Nina (ψυχρό επεισόδιο). Ένα επεισόδιο ENSO διαρκεί κατά προσέγγιση 8 - 10 μήνες.

Όταν πρόκειται περί σύγκρισης των δύο επεισοδίων του ENSO, συνήθως παγκόσμιες κλιματικές ανωμαλίες που σχετίζονται με το La Nina είναι λιγότερο σημαντικές και σε ορισμένες περιοχές τείνουν να είναι και αντίθετες από αυτές που συνδέονται με το El Nino. Η μετάβαση από ένα φαινόμενο El Nino σε ένα La Nina μοιάζει να είναι αρκετά γρήγορη, ενώ αντίθετα η μετάβαση από ένα La Nina σε El Nino πραγματοποιείται σταδιακά. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η ορολογία του El Nino συχνά είναι αδιευκρίνιστη, με αποτέλεσμα ο όρος El Nino να χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό όταν πρόκειται να περιγραφεί μια πτυχή του φαινομένου ENSO.

Από το φαινόμενο του ENSO επηρεάζονται κυρίως οι περιοχές της Νότιας Αμερικής, όπως το Περού, η Χιλή, η Βολιβία, η Κολομβία και η Αργεντινή. Επιπρόσθετα, όπως είναι φανερό, επηρεάζονται οι περιοχές της Νοτιοανατολικής Ασίας και της Αυστραλίας καθώς επίσης και της Βορείου Αμερικής. Παράλληλα, οι επιπτώσεις του φαινομένου έχουν αντίκτυπο κι από την άλλη πλευρά του Ατλαντικού με άμεση μεταβολή στην Ευρώπη και το κλίμα της. Στην Ελλάδα, δεν έχουν εντοπιστεί επιρροές του El Nino και του La Nina.

Οι επιπτώσεις του El Nino στη Νότια Αμερική είναι άμεσες και ισχυρότερες από τη Βόρεια Αμερική. Το φαινόμενο συνδέεται με ζεστούς και πολύ υγρούς μήνες (Απρίλιος - Οκτώβριος), προκαλώντας κατά μήκος των ακτών του Περού και του Εκουαδόρ μεγάλες πλημμύρες όταν επικρατεί ακραία εκδήλωσή του. Κατά την ίδια περίοδο, και κυρίως κατά την άνοιξη και στις αρχές του καλοκαιριού, η Νότια Βραζιλία και η Βόρεια Αργεντινή έχουν πιο υγρό κλίμα απ' ότι σε κανονικές συνθήκες. Στην Κεντρική Χιλή ο χειμώνας παρουσιάζεται ηπιότερος με μεγάλες

βροχοπτώσεις, ενώ στο Περού και τη Βολιβία μερικές φορές παρατηρούνται ασυνήθιστα γεγονότα χιονόπτωσης το χειμώνα. Πιο ξηρό και θερμό κλίμα εμφανίζεται σε περιοχές της λεκάνης του ποταμού Αμαζονίου, στην Κολομβία και στην Κεντρική Αμερική. Τα καλοκαίρια κατά την περίοδο ενός El Nino είναι κατά μέσο όρο πιο υγρά στα βορειοδυτικά και στις ορεινές περιοχές των Η.Π.Α. Η Κεντρική Ευρώπη, η Νότια Κίνα, η Χιλή, η Αργεντινή, η Βραζιλία, η Ουρουγουάη και τα νησιά του Κεντρικού τροπικού Ειρηνικού είναι μέρη του πλανήτη που πλήττονται από πλημμύρες. Αντίθετα, η Κεντρική Αφρική, η Αυστραλία, η Ινδονησία, η Βόρεια Κίνα, η Ταϊλάνδη, αλλά και τμήματα της Νότιας Αμερικής αντιμετωπίζουν έντονα προβλήματα ξηρασίας.

Στον κλάδο της οικονομίας, οι επιπτώσεις του El Nino παρουσιάζονται δυσμενείς για πολλά κράτη καθώς χάνουν μεγάλα τμήματα της αγροτικής παραγωγής τους. Στη λεκάνη του Ειρηνικού, ελαττώνεται η περίοδος καλλιέργειας και ετήσιες καλλιέργειες, όπως ρύζι, καλαμπόκι και φασόλια, δεν μπορούν να αναπτυχθούν σωστά. Κατά συνέπεια, μειώνεται η ικανότητα πρόσβασης των πολιτών σε ασφαλή και επαρκή τροφή με αποτέλεσμα οι ίδιοι να υποσιτίζονται και να εμφανίζουν ανεπάρκειες σε απαραίτητα θρεπτικά συστατικά, βιταμίνες ή ανόργανα στοιχεία. Ταυτόχρονα, η μη ισορροπημένη διατροφή δύναται να επηρεάσει το εκκρεμές της υγείας, αποδυναμώνοντας το ανοσοποιητικό σύστημα των κατοίκων των χωρών που εκδηλώνεται το φαινόμενο El Nino ή, ακόμα, επαναφέροντας στην περιοχή ασθένειες που έχουν εκλείψει ή λιμούς. Υπό το ίδιο πρίσμα, επιβαρύνεται έντονα η οικονομία της χώρας, καθώς κρίνεται επιτακτική ανάγκη η εισαγωγή τροφίμων, φρούτων και λαχανικών, από άλλες χώρες λόγω της μειωμένης ή μηδενικής παραγωγής εξαιτίας των επεισοδίων El Nino.

Πολλές φορές, μάλιστα, οι συγκεκριμένες περιοχές υφίστανται ερημοποίηση σε μια ύστατη προσπάθεια των κατοίκων να έχουν πρόσβαση σε επαρκείς ποσότητες τροφίμων καθώς δεν επιθυμούν να επηρεάζεται η καθημερινή ζωή τους από έντονα καιρικά φαινόμενα ή μεγάλης διάρκειας περιόδους ξηρασίας. Η παραπάνω διαπίστωση επιφέρει σημαντικά προβλήματα στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας της περιοχής, διότι, πιθανώς, τροποποιείται η τροφική αλυσίδα των ειδών και, εφόσον υπάρχουν ενδημικά είδη, απειλείται η βιωσιμότητά τους. Επιπλέον, η έλλειψη βροχοπτώσης μειώνει τη διαθεσιμότητα νερού, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την άρδευση και τις υδατοκαλλιέργειες. Συνακόλουθα, τα ακραία καιρικά φαινόμενα ασκούν σημαντική επίδραση στις υποδομές και το οδικό δίκτυο καθιστώντας ακόμα πιο δύσκολη τη διαβίωση των πολιτών και αυξάνοντας την έκθεση τους σε φαινόμενα που μπορούν να αποβούν μοιραία για τη ζωή τους.

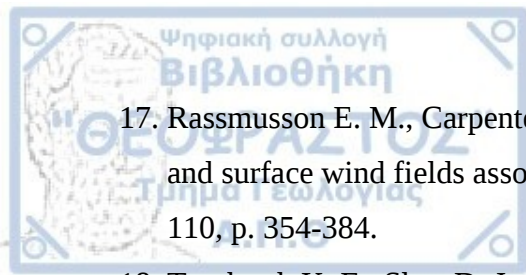
Ομοίως με την οικονομία, το φαινόμενο El Nino, φαίνεται να ασκεί σημαντικό αντίκτυπο στον τομέα της υγείας. Πρωτίστως, δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την υπερμετάδοση

μολυσματικών ασθενειών, όπως η ελονοσία, ο Δάγκειος Πυρετός κ.λπ., οι οποίες ανάγονται σε μετεωρολογικές συνιστώσες και η έκβασή τους σχετίζεται με την αδυναμία, ή μη, του ανοσοποιητικού συστήματος να ανταποκριθεί. Το φαινόμενο El Nino δημιουργεί μετεωρολογικές προϋποθέσεις, τέτοιες, που ευνοούν την αναπαραγωγή και επιβίωση των κουνουπιών του γένους *Anopheles*, του πρωτεύοντος ξενιστή των πλασμωδίων που προκαλούν ελονοσία.

Την ίδια στιγμή, δεν τηρούνται οι απαραίτητες υγειονομικές συνθήκες για την παραγωγή ασφαλών τροφίμων με αποτέλεσμα την εκδήλωση ιδιαίτερα σοβαρών τροφολοιμώξεων και τροφοτοξινώσεων, παθολογικών καταστάσεων που συνιστούν απόρροια της αδυναμίας πρόσβασης σε καθαρό και πόσιμο νερό. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η ασθένεια που προκαλείται από το βάκιλο της χολέρας (*Vibrio cholerae*), επεισόδια λιστερίωσης (*Listeria monocytogenes*), σαλμονελάσεις (*Salmonella enteritidis*) καθώς και μόλυνση από το εξαιρετικά παθογόνο βακτήριο *Escherichia coli*. Τα ήδη καταρρακωμένα συστήματα υγείας των χωρών που μαστίζονται από το El Nino δοκιμάζονται έντονα σε τέτοιες περιόδους υγειονομικών κρίσεων και, τις περισσότερες φορές, λόγω έλλειψης πόρων, αδυνατούν να ανταποκριθούν με αποτέλεσμα το βέβαιο θάνατο των πολιτών.

Πιο ξηρές και μεγαλύτερες σε διάρκεια περίοδοι αυξάνουν τον κίνδυνο των δασικών πυρκαγιών, μολονότι, εκτεταμένες πυρκαγιές κατά τη διάρκεια των επεισοδίων El Nino επιφέρουν σοβαρά προβλήματα στην πανίδα και στους δασικούς πόρους. Συγκεκριμένα, η υψηλή θερμοκρασία της θάλασσας στην ακτή του Ειρηνικού προκαλεί μετανάστευση των θαλάσσιων ειδών, τα οποία αναζητούν ψυχρότερα κλίματα, προκαλώντας υπολογίσιμες απώλειες στην αλιεία.

1. Barnston A. G., Chelliah M., Goldenberg S. B. (1997). Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial Pacific. *Atmos–Ocean*, 35, p. 367-383.
2. Berlage H. P. (1957). Fluctuations in the general circulation of more than a year, their nature and prognostic value. Netherlands, 152p.
3. Berlage H. P. (1966). The Southern Oscillation and World Weather. Netherlands, 152p.
4. Bjerknes J. (1966). A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, 18, p. 820-829.
5. Bjerknes J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial pacific. *Mon. Weather Rev.*, 97, p. 163-172.
6. Bjerknes J. (1972). Large scale atmospheric response to 1964-65 Pacific equatorial warming. *J. Phys., Oceanogr.*, 22, p. 212-217
7. Bronnimann S. (2006). Impact of El Nino-Southern Oscillation on European Climate.
8. CDC (2009). Climate change and human health. Centers for Disease Control and Prevention.
9. Connolley W., Lachlan-Cope T. (2006). Teleconnections between the tropical Pacific and the AmundsenBellinghausens Sea: Role of the El Nino/Southern Oscillation. *Journal of Geophysical Research*, 111, D23101.
10. Dijkstra H. A. (2006). The ENSO phenomenon: theory and mechanisms. *Advances in Geosciences*, 6, p. 3-15.
11. Hanley D., Bourassa M. A., O'Brien J. J., Smith S. R., Spade E. R. (2003). A Quantitative Evaluation of ENSO Indices. *Journal of Climate*, 16, p. 1248-1258.
12. Horel J. D. (1982). The annual cycle in the tropical Pacific atmosphere and ocean. *Mon. Weather Rev.*, 110, p. 1863-1878.
13. IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
14. Kovats S. R., Bouma J. M., Hajat S., Worrall E., Haines A. (2003). El Nino and Health. *THE LANCET*, Vol. 362., p. 1481-1489.
15. Leth U., Locher M., Popovits C. (2003). El Nino: A phenomenon with global ecological effects. *Okologieseminar*, WS 03 / 04, p. 224.323, Ecology.
16. Okumura M. Y. (2010). Asymmetry in the Duration of El Nino and La Nina. *Journal of Climate*, 23, p. 5826-5843.



17. Rasmussen E. M., Carpenter T. H. (1982). Variations in tropical Sea Surface Temperature and surface wind fields associated with Southern Oscillation/El Nino. *Mon. Weather Rev.*, 110, p. 354-384.
18. Trenberth K. E., Shea D. J. (1987). On the evolution of the Southern Oscillation. *Mon. Weather Rev.*, 115, p. 3078-3096.
19. Tribbia J. J. (1991). The rudimentary theory of atmospheric teleconnections associated with ENSO, in Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies. *Cambridge University Press*, p. 285-308
20. van Loon H., Zerefos C., Repapis C. (1982). The Southern Oscillation in the Stratosphere. *Mon. Weather Rev.*, 110, p. 225-229.
21. Wang H., Zhang R., Cole J., Chavez F. (1999). El Nino and the related phenomenon Southern Oscillation (ENSO): The largest signal in interannual climate variation. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 96, p. 11071-11072.
22. WHO (2003). Climate change and human health – risks and responses. Summary. World Health Organization.
23. Wu Y., Liu L., Zheng X. Y. (2020). Influence of El Niño events on sea surface salinity over the central equatorial Indian Ocean. *Environmental Research*, 182, 109097.
24. Ζερεφός Χ. (1984). Μαθήματα Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Φυσικής του Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη.

Διδακτορικές διατριβές

1. Παρασκευόπουλος Ν. Α. (2015). Δυναμικά φαινόμενα της ατμόσφαιρας και κλιματικές τάσεις στην Ευρώπη. Διδακτορική διατριβή, σελ. 118.
2. Τουρπάλη Δ. Κ. (1994). Η σχεδόν διετής κύμανση και η Νότια κύμανση στην ατμόσφαιρα. Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη, σελ. 185.

Ιστογραφία

1. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9d/Enso-index-map.png>
2. https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_el
3. <https://www.malariasite.com/>
4. <https://www.ecoweather.gr/>



