

# ΠΟΛΥΠΛΟΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΧΑΟΣ



Α.Β.Μπράϊλας

Κ σ χ γ β ψ ε σ η ζ Μ Κ α  
ε ζ Πο Γω Σ ζ Ε ο υ λ  
Κ f g ι f τ λ υ Κ υ Χ δ Π



Α.Β. Μπράιλας

*Πολύπλοκα Συστήματα και Χάος:*

ISBN (print): 978-960-7943-14-9

ISBN (eBook): 978-960-7943-18-7

Revision: IS-1-002-STW

Έκδοση: Εργαστήριο Δυναμικής Πραγματικότητας, Διαδικτυακής

Έρευνας και Εκπαίδευσης

Τμήμα Ψυχολογίας

Πάντειο Πανεπιστήμιο

<http://vrlab.panteion.gr/>



Σχεδίαση εξωφύλλου: Νίκη Βακράκη

1<sup>η</sup> Έκδοση: 2015

Copyright © 2015 Α.Β. Μπράιλας

All rights reserved. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η μερική ή ολική αναδημοσίευση του έργου αυτού, καθώς και η αναπαραγωγή του με οποιοδήποτε μέσο, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα

# Πολύπλοκα Συστήματα & Χάος

Κοινωνιο-Ψυχολογικές και  
Παιδαγωγικές προσεγγίσεις

ΑΛΕΞΙΟΣ Β. ΜΠΡΑΪΛΑΣ

Μα όλα για μένα σφάλαι  
και πάσιν άνω κάτω...  
για με ξαναγεννήθηκεν  
η φύση των πραγμάτων

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλω να εκφράσω τις βαθιές μου ευχαριστίες στο Αθηναϊκό Κέντρο Μελέτης του Ανθρώπου (ΑΚΜΑ) και στους εκπαιδευτές του για τη μύησή μου στον κόσμο της συστημικής θεωρίας και επιστημολογίας. Ευχαριστώ θερμά τον εκπαιδευτή μου και διευθυντή του ΑΚΜΑ Πέτρο Πολυχρόνη για τα μαθήματα ζωής που μου έδωσε και τα οποία έχουν διαμορφώσει βαθειά την εκπαιδευτική και επιστημονική μου πρακτική και κατ' επέκταση το σύγγραμμα αυτό.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή του τμήματος Ψυχολογίας του Παντείου Πανεπιστημίου και διευθυντή του Εργαστηρίου Δυνητικής Πραγματικότητας, Διαδικτυακής Έρευνας και Εκπαίδευσης, Κωνσταντίνο Κοσκινά για την επιστημονική του συμβολή και την ουσιαστική και έμπρακτη αρωγή του στην έκδοση αυτού του τόμου.

Θέλω να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν ουσιαστικά, έμμεσα ή άμεσα, στην επιστημονική μου πορεία και συγκρότηση στην Ψυχολογία από το 2004 και μετά, χρονιά ορόσημο για μένα, και τους οποίους είναι πρακτικά αδύνατο να αναφέρω ονομαστικά. Η συμβολή τους και η επιστημονική τους κληρονομιά και παρακαταθήκη είναι ανεκτίμητη. Τους ευχαριστώ θερμά με την ελπίδα και την προσδοκία ότι τιμώ και μεγαλώνω την κληρονομιά αυτή. Όπως είχε επισημάνει ο Victor Frankl, *ακόμα και ένας νάνος στους ώμους ενός γίγαντα, βλέπει μακρύτερα από το γίγαντα*. Και όπως λέει και ο Σεφέρης, *είναι παιδιά πολλών ανθρώπων τα λόγια μας...*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                  |                                  |      |
|------------------|----------------------------------|------|
|                  | Πρόλογος                         | xiii |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑ     | Εισαγωγή στην Πολυπλοκότητα      | 23   |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΥΟ     | Από το Άτομο στο Σύστημα         | 66   |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑ    | Αξιολόγηση & Πολύπλοκα Συστήματα | 95   |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΣΣΕΡΑ | Διεργασία και Χρόνος             | 115  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΝΤΕ   | Πολυπλοκότητα και Οργάνωση       | 134  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΞΙ     | Κοινότητες Μάθησης               | 151  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΠΤΑ    | Κοινωνικά Δίκτυα                 | 163  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΚΤΩ    | Διεργασία Ομάδας                 | 192  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΝΕΑ   | Αντί Επilogου                    | 213  |
|                  | Παράρτημα                        | 231  |
|                  | Γλωσσάρι                         | 238  |
|                  | Βιβλιογραφία                     | 247  |

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Θεωρία πολυπλοκότητας (Complexity Theory)<sup>1</sup> ήρθε να κλονίσει και να επαναπροσδιορίσει την οντολογική και επιστημολογική βάση της σύγχρονης επιστήμης κατά το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα. Η θετικιστική και αναγωγιστική θεμελίωση της δυτικής επιστήμης, όπως συγκροτήθηκε από την αναγέννηση και μετά, άρχισε ήδη να αμφισβητείται σταδιακά από τις μεταμοντέρνες και νεωτερικές κοινωνικές και κονστρουκτιβιστικές θεωρίες και επιστημολογικές προσεγγίσεις των Popper, Kuhn, Lacatos και Feyerabend. Όμως, η θεωρία του Χάους και η δυναμική των θερμοδυναμικών συστημάτων μακράν της ισορροπίας ήρθε να ανατρέψει τη νευτώνεια

---

<sup>1</sup> Ο όρος *complexity* (theory or science) έχει επικρατήσει να αποδίδεται στα Ελληνικά ως *πολυπλοκότητα*. Θεωρούμε ότι ο όρος θα μπορούσε να αποδοθεί καλύτερα ως *συμπλοκότητα* – η *πολυπλοκότητα* είναι ακριβής μετάφραση του όρου *multiplicity*.

προσέγγιση της επιστήμης, που αντιμετώπιζε τον κόσμο ως ένα μηχανικό αυτόματο, μέσα από τα ίδια τα “σπλάχνα” της, μέσα από το σκληρό πυρήνα των θετικών επιστημών. Ήδη από το 1859, ο Δαρβίνος με το έργο του *η καταγωγή των ειδών* είχε ανοίξει τον ασκό του Αιόλου. Αυτό που τότε προκάλεσε κοινωνική θύελλα ήταν ο ισχυρισμός ότι όλα τα έμβια όντα του πλανήτη, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, δεν δημιουργήθηκαν στη σημερινή “τελική” τους μορφή, αλλά είναι τα στιγμιότυπα μιας διαδικασίας εξέλιξης από πρόδρομες μορφές ζωής, μέσω του μηχανισμού της φυσικής επιλογής. Όμως, μια εξίσου σημαντική συνέπεια της θεωρίας της εξέλιξης των ειδών, σε συνδυασμό με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, ήταν η συνεπακόλουθη διαπίστωση ότι η ζωή και η εξέλιξή της είναι δυνατή σε ένα σύμπαν που, με όρους φυσικών επιστημών, είναι καταδικασμένο στον εκφυλισμό, σε ένα θερμοδυναμικό θάνατο μέσω της διαρκούς αύξησης της εντροπίας. Πώς η εξέλιξη της ζωής είναι δυνατή σε ένα τέτοιο σύμπαν; Μια, επίσης, σημαντική διαπίστωση, που είναι οικεία σε κάθε βιολόγο και παρατηρητή της ζωής στον πλανήτη, αλλά αναδεικνύεται ιδιαίτερα από το έργο του Δαρβίνου, είναι ότι, σε πρακτικό επίπεδο, δεν μπορούν αντιστραφούν τα βιολογικά φαινόμενα, η ζωή δεν είναι μια μπομπίνα που μπορεί να ξανατυλιχθεί. Στη φύση ξέρουμε ότι δεν μπορούμε να γυρίσουμε το χρόνο πίσω. Αντίθετα, η θετικιστική θεώρηση του κόσμου ως ενός μηχανικού αυτόματου, συνεπάγεται ότι μια διάνοια που είναι τόσο μεγάλη, ώστε να μπορεί να συγκεντρώσει και να χειριστεί όλες τις παραμέτρους των φυσικών εξισώσεων που διέπουν τη λειτουργία αυτού του μηχανισμού, με την προσήκουσα ακρίβεια, αυτή η διάνοια μπορεί να χειριστεί και την παράμετρο του

χρόνου και να γυρίσει την ταινία πίσω, να αντιστρέψει το σύμπαν<sup>2</sup>.

Μετά τον Δαρβίνο, τη σκυτάλη των επιστημολογικών ανατροπών παρέλαβε ο Γάλλος μαθηματικός Henri Poincare, που στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα ισχυρίστηκε ότι το πρόβλημα των τριών ουρανίων σωμάτων δεν μπορούσε να επιλυθεί, δηλαδή ήταν αδύνατο να προβλεφτεί με ακρίβεια η θέση τους σε βάθος χρόνου, όχι λόγω κάποιας αδυναμίας ή λάθους των μαθηματικών τύπων – η μη προβλεψιμότητα ήταν εγγενής στο σύστημα των εξισώσεων που περιέγραφε την κίνησή τους. Το σύστημα των τριών ουρανίων σωμάτων που υπακούουν στους νευτώνειους βαρυτικούς νόμους είναι ένα σύστημα εξαιρετικά ευαίσθητο στις αρχικές συνθήκες, η απειροελάχιστη διαφοροποίηση σε αυτές οδηγεί σε δραματικά δυσανάλογες διαφοροποιήσεις στις θέσεις των σωμάτων σε βάθος χρόνου. Όμως, ο Poincare δεν χρησιμοποίησε ακριβώς αυτή την ορολογία (*εξαιρετική ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες*). Την ορολογία αυτή εισήγαγε μετά από εβδομήντα χρόνια ο Edward Lorenz, το 1961, όταν προσπάθησε να μοντελοποιήσει την πρόγνωση των τυφώνων μέσα από ένα σύστημα τριών συζευγμένων εξισώσεων. Ο Lorenz χρησιμοποίησε τον όρο *επίδραση της πεταλούδας* (butterfly effect), για να τονίσει την εξαιρετική ευαισθησία του συστήματος πρόβλεψης του καιρού που μελετούσε στις αρχικές συνθήκες: μόνο το τίναγμα των φτερών μιας πεταλούδας ήταν αρκετό, σε βάθος χρόνου, για να προκαλέσει έναν κυκλώνα στην άλλη άκρη του πλανήτη. Έτσι, ο Lorenz σηματοδότησε την επίσημη πρώτη της επιστήμης του Χάους.

---

<sup>2</sup> Ο ισχυρισμός είναι του Laplace, βλέπε και απόσπασμα στο πρώτο κεφάλαιο.

Ο Ilya Prigogine μετέφερε την αβεβαιότητα στην καρδιά των θετικών επιστημών. Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, η εντροπία ενός κλειστού συστήματος αυξάνεται, δηλαδή ενεργειακά το σύστημα υποβαθμίζεται και οδηγείται σταδιακά στον εκφυλισμό, στο θερμοδυναμικό θάνατο. Ωστόσο, στο φυσικό κόσμο δεν υπάρχουν απολύτως κλειστά συστήματα. Αντίθετα, τα ζωντανά συστήματα είναι ανοιχτά, ανταλλάσσοντας ύλη και ενέργεια με το περιβάλλον. Τα ανοικτά συστήματα καταφέρνουν και αποβάλλουν εξωτερικά την αταξία τους, εισάγοντας πληροφορία από το περιβάλλον και, συνακόλουθα, αυξάνοντας την εσωτερική τους οργάνωση, κόντρα στο 2<sup>ο</sup> νόμο της θερμοδυναμικής. Ο Prigogine βραβεύτηκε με το βραβείο νόμπελ χημείας το 1977 για τη συνεισφορά του στη θερμοδυναμική των συστημάτων μακράν της ισορροπίας και τη θεωρία του για τις δομές έκλυσης. Όμως, η μεγάλη συνεισφορά του φιλόσοφου Prigogine είναι ότι ο ίδιος συνετέλεσε στη μεταφορά της θεωρίας του στο πεδίο των κοινωνικών επιστημών, διευρύνοντας τον επιστημολογικό ορίζοντα και των κοινωνικών ερευνητών.

Πράγματα που ήταν γνωστά από την αρχαιότητα, διαπιστώσεις και ιδέες που εμφανίζονταν διαχρονικά στη σκέψη πολλών επιστημόνων και φιλοσόφων, έβρισκαν τώρα μια συνεκτική θεωρία και ένα κατάλληλο λεξιλόγιο. Ένα λεξιλόγιο βγαλμένο μέσα από τις θετικές επιστήμες, όμως εξαιρετικά αναγκαίο για πολλούς ερευνητές των ανθρωπίνων συστημάτων: ανάδυση, αυτοποίηση, αποσταθεροποίηση, συμπλοκότητα, αδυναμία πρόβλεψης, αναταράξεις, το βέλος του χρόνου, εξαιρετική ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες, η επίδραση της πεταλούδας, αυτοοργάνωση, ντετερμινιστικό χάος, δυναμική μακράν της ισορροπίας, επιλογή, διχαλωτή διακλάδωση, εντροπία, ιστορικότητα, εξέλιξη, παράξενοι ελκυστές, βρόχοι θετικής ανατροφοδότησης,. Ένα λεξιλόγιο προερχόμενο από τη

θεωρία πολυπλοκότητας το οποίο μπορεί να περιγράψει με εξαιρετική επιτυχία τις διεργασίες της βίωσης και πάρα πολλά ανθρώπινα βιολογικά και κοινωνικά φαινόμενα, φωτίζοντας μια λιγότερο γνωστή διάστασή τους. Ίσως ήταν αναπόφευκτο η προσέγγιση της πολυπλοκότητας να κατακτήσει τις βιολογικές και κοινωνικές επιστήμες, προσφέροντας στους ερευνητές τη δυνατότητα να αντιληφθούν με διαφορετικό τρόπο μια σειρά φαινομένων που πάντοτε εξελίσσονταν μπροστά στα μάτια τους, αλλά δεν διέθεταν προηγούμενα τους κατάλληλους εννοιολογικούς φακούς παρατήρησης. Δυστυχώς, οι επιστήμες της αγωγής είναι οι τελευταίες που αξιοποιούν τη θεωρία πολυπλοκότητας, ακολουθώντας τις οικονομικές επιστήμες, την κοινωνιολογία και τη ψυχολογία.

Οι πρώτες προσπάθειες σύνδεσης της πολυπλοκότητας με την εκπαίδευση και τη μάθηση ξεκίνησαν στο τέλος της δεκαετίας του '90, ενώ συνεχίζονται δειλά δειλά μέχρι σήμερα. Δεν θα προσπαθήσουμε, επηρεασμένοι από τις βασικές αρχές της επιστήμης της πολυπλοκότητας, να εντοπίσουμε αλυσίδες γραμμικής αιτιότητας για αυτή την καθυστέρηση. Ωστόσο, θα διακινδυνεύσουμε την εκτίμηση ότι στις επιστήμες της αγωγής το επόμενο επιστημονικό Παράδειγμα θα κυριαρχείται από την προσέγγιση της πολυπλοκότητας. Με την επισημάνση πως τα εκπαιδευτικά συστήματα δεν καθορίζονται μονοσήμαντα από τις επιστημονικές εξελίξεις αλλά επηρεάζονται, σε μεγάλο βαθμό, από τις πολιτικές επιλογές. Σήμερα βιώνουμε μια συντηρητική παιδαγωγική στροφή σε παγκόσμιο επίπεδο. Όλο και συχνότερα, η εκπαίδευση αντιμετωπίζεται από τις επικρατούσες εκπαιδευτικές πολιτικές ως μια μηχανιστική διαδικασία παραγωγής και όχι ως ένα πολύπλοκο ζωντανό σύστημα με αναδυόμενες ιδιότητες, όπως πραγματικά είναι. Το διαδίκτυο και οι νέες τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών αυξάνουν ακόμα περισσότερο τη συμπλοκότητα του

εκπαιδευτικού εγχειρήματος με έναν τρόπο που τώρα αρχίζει και διαφαίνεται, αλλά την εξέλιξη του οποίου δεν μπορούμε να προβλέψουμε σε βάθος χρόνου. Σε αυτό το τοπίο των συνεχών αλλαγών, της αποσταθεροποίησης και της αβεβαιότητας, όπου το αναπάντεχο είναι ο κανόνας, η προσέγγιση της πολυπλοκότητας και η δυναμική των συστημάτων μακράν της ισορροπίας μπορούν να εφοδιάσουν τους εκπαιδευτικούς με τα κατάλληλα επιστημονικά εργαλεία, ώστε να αξιοποιήσουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το ντετερμινιστικό χάος που ανοίγεται μπροστά τους.

Το παρόν βιβλίο αποτελεί την πρώτη προσπάθεια στην Ελλάδα για τη συγκρότηση του πεδίου της παιδαγωγικής των πολύπλοκων συστημάτων. Σε παγκόσμιο επίπεδο οι παρόμοιες προσπάθειες είναι λίγες και σε αρχικό στάδιο. Μια μεγάλη δυσκολία ενός τέτοιου εγχειρήματος είναι το εύρος των επιστημονικών ειδικοτήσεων που εμπλέκονται και η διεπιστημονική προσέγγιση που απαιτείται. Κάποιος χρειάζεται να γνωρίζει τα μαθηματικά των δυναμικών συστημάτων και του χάους, να γνωρίζει τη φυσική και τη χημεία των δομών έκλυσης και των παράξενων ελκυστών, να γνωρίζει τη βιολογία της αυτοοργάνωσης και της εξέλιξης, να γνωρίζει τις οικονομίες της συνέργειας και την ανάδυση νέων ιδιοτήτων, να γνωρίζει τη δυναμική των ομάδων και των κοινωνικών σχέσεων, να γνωρίζει τα αναλυτικά προγράμματα και τη σημασία τους, να γνωρίζει τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες του σχολικού περιβάλλοντος, να γνωρίζει τις κοινωνικές διεργασίες και τις θεωρίες μάθησης. Τέτοιες διεπιστημονικές ομάδες είναι δύσκολο να συγκροτηθούν, αν και αυτό είναι το ζητούμενο. Επομένως, η συγκρότηση του επιστημονικού πεδίου της παιδαγωγικής των πολύπλοκων συστημάτων είναι αρκετά δύσκολη και οι προσπάθειες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα συμπληρώνουν σταδιακά τα κομμάτια του πάζλ.

Στο συγκεκριμένο βιβλίο προσπάθησα να ακολουθήσω μια διεπιστημονική προσέγγιση. Έχοντας σπουδάσει ο ίδιος Πληροφορική, Ψυχολογία και Παιδαγωγικά, μου ήταν σχετικά εύκολο. Καταλύτης στο όλο εγχείρημα αποτέλεσαν οι σπουδές μου στη συστημική επιστήμη και στην επιστημολογία των πολύπλοκων συστημάτων. Έχοντας αυτό το διεπιστημονικό υπόβαθρο σε συνδυασμό με τη διδακτική μου πρακτική στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και στη τριτοβάθμια εκπαίδευση, προσπάθησα να θέσω τη βάση αυτού του εγχειρήματος, κατανοώντας ότι αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια στο χώρο. Ελπίζω αυτό μου το εγχείρημα να φανεί χρήσιμο στους συναδέλφους εκπαιδευτικούς και παιδαγωγούς, όσο φάνηκε και σε εμένα κατά τη συγγραφή του.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2014  
Αλέξης Μπράϊλας

# 1

---

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ

*Από τη στιγμή που δύο κβαντικές οντότητες, όπως δύο πρωτόνια, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, περιέχονται σε μια κατάσταση όπου η δράση σε μια από αυτές τις οντότητες θα παράγει ένα ακαριαίο αποτέλεσμα στην άλλη, ανεξάρτητα του πόσο έχουν απομακρυνθεί χωρικά μετά την αλληλεπίδρασή τους (Polkinghorne, 2010).*

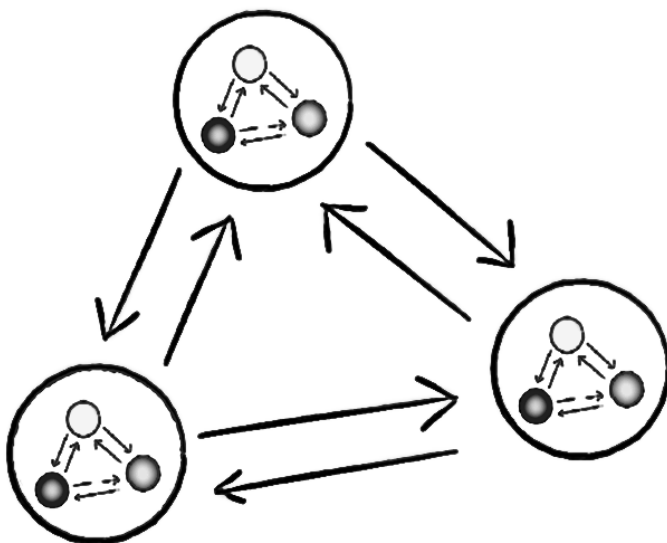
Η θεωρία πολυπλοκότητας (Complexity Theory) είναι ένα σχετικά νέο και συνεχώς αναπτυσσόμενο, διεπιστημονικό πεδίο έρευνας. Προέκυψε μέσα από τη δημιουργική συνάντηση πολλών επιστημονικών κλάδων, όπως είναι η κυβερνητική, η γενική θεωρία συστημάτων, η θεωρία του χάους, τα μαθηματικά των μη γραμμικών συστημάτων και η θερμοδυναμική μακράν της ισορροπίας (Davis & Sumara, 2006). Για πρώτη φορά ο όρος *πολυπλοκότητα* χρησιμοποιήθηκε, με τη σημερινή του σημασία, το 1948 από τον Warren Weaver στο περίφημο άρθρο του *Science*

*and complexity* (Weaver, 1948). Η παραδοσιακή προσέγγιση στη δυτική ορθολογιστική επιστήμη από την αναγέννηση και μετά εστιάζει το ενδιαφέρον της στην πρόβλεψη των φυσικών και ανθρωπίνων κοινωνικών φαινομένων. Η προσέγγιση της πολυπλοκότητας αναδεικνύει και, ταυτόχρονα, αξιοποιεί την εγγενή αδυναμία προβλεψιμότητας. Τα φυσικά και κοινωνικά φαινόμενα, η ανθρώπινη κοινωνική συμπεριφορά, ακόμα και οι χημικές ή ηλεκτρικές νευρο-φυσιολογικές καταστάσεις του ανθρώπινου εγκεφάλου, δεν μπορούν να προβλεφτούν σε βάθος χρόνου.

Η μη προβλεψιμότητα είναι εγγενής στα πολύπλοκα συστήματα (Feldman, 2012). Δηλαδή δεν χρειάζεται καμιά εξωτερική, μη αναμενόμενη, αναπάντεχη παρέμβαση, ώστε ένα απολύτως ντετερμινιστικό σύστημα να οδηγηθεί σε μια απολύτως χαοτική και μη προβλέψιμη συμπεριφορά. Ιδιαίτερα στην εποχή των υπολογιστών και στο χρονότυπο του διαδικτύου, όπου όλοι συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με όλους τους υπόλοιπους, με ελάχιστο αριθμό ενδιάμεσων συνδέσεων, συγκροτώντας πολύπλοκα συστήματα από δρώντα υποκείμενα. Σε αυτή την εποχή, οι αλληλεπιδράσεις και οι συνέργειες είναι ακόμα περισσότερες. Όμως, ας ξεκινήσουμε με τον ορισμό του συστήματος.

**Σύστημα είναι ένα σύνολο από μέρη που αλληλεπιδρούν και συνεξελίσσονται.** Τα μέρη αυτά συγκροτούν ένα ενιαίο όλον το οποίο εμφανίζει αναδυόμενες ιδιότητες. Οι αναδυόμενες ιδιότητες αναφέρονται και αφορούν το όλον και, ταυτόχρονα, επηρεάζουν τα μέρη. Οι ιδιότητες του συνολικού συστήματος δεν μπορούν να αναχθούν στο άθροισμα των ιδιοτήτων των μερών του, προκύπτουν μέσα από την αλληλεπίδραση αυτών των μερών μεταξύ τους και μέσα από την αλληλεπίδραση των μερών με το όλον που συγκροτούν. **Δηλαδή**

η διεργασία συγκρότησης του συστημικού όλου είναι συνεχής και διαρκώς εν τω γίνεσθαι. Κατανοώντας την πολύπλοκη φύση των βιολογικών, οικονομικών, κοινωνικών και ανθρώπινων συστημάτων, μπορούμε να προσεγγίσουμε το φαινόμενο της μάθησης και τη διαδικασία της εκπαίδευσης με ένα λιγότερο επιφανειακό και περισσότερο αποτελεσματικό τρόπο (εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1. Τα μέρη ενός συστήματος αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, συγκροτώντας ένα ενιαίο όλον το οποίο επιδεικνύει αναδύομενες ιδιότητες. Οι ιδιότητες του μορίου του νερού ( $H_2O$ ) είναι εντελώς νέες, αφορούν τις ιδιότητες των επιμέρους ατόμων, αναφέρονται στο όλον. Ένα ενιαίο σύστημα μπορεί να αποτελεί συγκροτών μέρος ενός άλλου υπερ-συστήματος. Έτσι, σχηματίζονται ιεραρχίες συστημάτων με εντελώς νέες ιδιότητες σε κάθε επίπεδο ανάλυσης. Η εξήγηση των ιδιοτήτων ενός υπερ-συστήματος δεν μπορεί να αναχθεί στις ιδιότητες των μερών του προηγούμενου επίπεδου ανάλυσης (μεθοδολογικός αναγωγισμός).

Η ολιστική προσέγγιση της θεωρίας πολυπλοκότητας μπορεί να αποκαλύψει λεπτομέρειες και συνδέσεις που υπάρχουν, και επομένως μπορούν να γίνουν αντιληπτές και κατανοητές, μόνο στο επίπεδο του συστήματος στο οποίο τα συγκροτούντα μέρη εντάσσονται. Όσο θα προσπαθούμε να ερμηνεύσουμε την ανθρώπινη ατομική ή κοινωνική συμπεριφορά, μελετώντας το ανθρώπινο υποκείμενο στην απομόνωση, τόσο θα οδηγούμαστε σε ελλείψεις και αναποτελεσματικές ερμηνείες. Οι ατομικές ανθρώπινες συμπεριφορές δεν αποτελούν το αποτέλεσμα μιας απομονωμένης εσωτερικής διεργασίας, αλλά αποτελούν εκφράσεις αναδυόμενων ιδιοτήτων των πολύπλοκων συστημάτων στα οποία το άτομο εντάσσεται και συμμετέχει. Επομένως, μπορούν να γίνουν κατανοητές μόνο μελετώντας το υπερκείμενο σύστημα του οποίου αποτελούν εκφράσεις.

Η μελέτη του φαινομένου της ατομική μάθησης είναι ελλιπής, αν δεν μελετηθεί η συνέργεια της ατομικής δράσης με αυτή των άλλων δρώντων υποκειμένων στο επίπεδο των συστημάτων στα οποία το άτομο εντάσσεται και αναπτύσσεται. Η κατανόηση της επιθετικής ή της αδιάφορης συμπεριφοράς ενός μαθητή, η κατανόηση των ατομικών στάσεων και επιδόσεων είναι αδύνατη αν δεν εξετάσουμε τη λειτουργία των συστημάτων στα οποία ανήκει και συγκροτούν τον ψυχισμό του μαθητή εκ των άνω. Η αξιολόγηση ενός δασκάλου και η κατανόηση του γιατί είναι ενδεχομένως καλός ή κακός είναι ελλιπής, χωρίς την προηγούμενη κατανόηση της λειτουργίας ή της δυσλειτουργίας των συστημάτων στα οποία εντάσσεται και αναπτύσσει τη δράση του. Ακόμα και οι τοίχοι ενός σχολείου “εκπέμπουν” συγκεκριμένη κοινωνική και εκπαιδευτική κουλτούρα. Η κατανόηση της επιτυχίας ή της αποτυχίας ενός σχολείου ή ενός εθνικού εκπαιδευτικού συστήματος είναι αδύνατη, αν δεν μελετήσουμε τη συγκεκριμένη κουλτούρα, το ειδικό κοινωνικό συγκείμενο:

*Ιδιαίτερα ο κόσμος των κοινωνικών αλληλεπιδράσεων αποτελούσε πάντα μια δύσκολη περιοχή επιστημονικής έρευνας, λόγω ακριβώς της πολυπλοκότητάς του, τη στιγμή που οι μέθοδοι έρευνας και ερμηνείας που χρησιμοποιούνταν ευρύτερα στην ‘επιστήμη’ ήταν απολύτως εξαρτημένες σε καταστάσεις οι οποίες μπορούσαν να αποδοθούν με απλούς όρους (Byrne, 1998).*

Η παραδοσιακή προσέγγιση στις κοινωνικές επιστήμες, μέσα από τη μηχανιστική νευτώνεια επιστημολογική αντιμετώπιση του κόσμου ως μηχανικού αυτόματου, αναζητά απλές αλυσίδες γραμμικής αιτιότητας στην ανθρώπινη συμπεριφορά, στο ίδιο επίπεδο που εμφανίζεται αυτή η συμπεριφορά. Για να συμπεριφέρεται ένα άτομο με αυτό τον τρόπο, κάτι θα ευθύνεται στο χαρακτήρα του, εντός των ορίων του βιολογικού του σώματος, ίσως γιατί μεγάλωσε έτσι, ίσως γιατί έμαθε έτσι και ίσως για αυτό τώρα πράττει έτσι. Όμως η απάντηση μπορεί να βρίσκεται πολύ μακρύτερα, στο μέλλον, στο ρόλο που έχει αναλάβει το άτομο και στο σκοπό που υπηρετεί μέσα στα πολύπλοκα κοινωνικά συστήματα στα οποία εντάσσεται και τα οποία συγκροτεί με τη δράση του:

*Αν η ανθρώπινη δραστηριότητα περιοριζονταν στην αναπαραγωγή του παλιού, τότε ο άνθρωπος θα ήταν ένα ον προσανατολισμένο στο παρελθόν και θα μπορούσε να προσαρμοστεί στο μέλλον μόνο στο βαθμό που αυτό θα αποτελούσε αναπαραγωγή του παλιού. Είναι η ανθρώπινη δημιουργικότητα που καθιστά τον άνθρωπο ένα όν προσανατολισμένο στο μέλλον, που δημιουργεί το μέλλον του και μέσω αυτού τροποποιεί το παρόν του (Vygotsky, 2004, p. 9).*

Ο άνθρωπος ταυτόχρονα συγκροτεί το πλαίσιο του και συγκροτείται από αυτό, όπως ένα χέρι που ζωγραφίζεται από

ένα άλλο χέρι, την ίδια στιγμή που το ζωγραφίζει (Εικόνα 1.1). Η αναζήτηση απλοϊκών αλυσίδων γραμμικής αιτιότητας στην εκπαιδευτική έρευνα αδυνατεί να συλλάβει το φαινόμενο της μάθησης στην ολότητά του (Davis & Sumara, 2006). Μέσα από τη θεωρία πολυπλοκότητας η μάθηση μπορεί και γίνεται κατανοητή ως αναδυόμενη ιδιότητα στο επίπεδο του συστημικού όλου:

*Σε κάθε νέο επίπεδο ανάλυσης, εντελώς νέοι νόμοι, έννοιες, ερμηνείες και γενικεύσεις είναι απαραίτητες, καθιστώντας εκ νέου απαραίτητη την έμπνευση και τη δημιουργικότητα, όπως και στα προηγούμενα επίπεδα. Η ψυχολογία δεν είναι εφαρμοσμένη βιολογία, ούτε η βιολογία είναι εφαρμοσμένη χημεία (Anderson, 1972).*

### *Πολύπλοκα Συστήματα*

Τα ανθρώπινα κοινωνικά συστήματα, όπως τα περισσότερα ζωντανά συστήματα, είναι πολύπλοκα, μη γραμμικά στη δυναμική τους και εξαιρετικά ευαίσθητα στις απειροελάχιστες επιρροές (το φαινόμενο της πεταλούδας). Η δυναμική του όλου δεν μπορεί να αναχθεί στο απλό γραμμικό άθροισμα των επιμέρους δυναμικών. Τα πολύπλοκα συστήματα αναπτύσσονται και εξελίσσονται μέσα από διεργασίες που διαρκούν και εκτείνονται χρονικά, συγκροτώντας την ιστορική τους διάσταση. Επειδή η δυναμική των πολύπλοκων συστημάτων είναι μη γραμμική και εξαρτώμενη από την ελάχιστη διακύμανση των αρχικών συνθηκών, δεν υπάρχει δυνατότητα πρόβλεψης, παρά μόνο σε έναν βραχύ χρονικό ορίζοντα. Η έντονη πεποίθηση ότι μπορούμε να βρούμε θεωρίες και νόμους οι οποίοι προβλέπουν την συμπεριφορά των ανθρώπων στα διάφορα επίπεδα δράσης τους, είναι απότοκος

του θετικισμού αναγωγισμού και της νευτώνειας θεώρησης του σύμπαντος ως ένα μηχανικό αυτόματο. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά ο Laplace:

*Σε αυτή την περίπτωση οφείλουμε να θεωρούμε την παρούσα κατάσταση του σύμπαντος ως το αποτέλεσμα της προγενέστερης κατάστασής του και ως την αιτία της μελλοντικής του. Μια διάνοια η οποία, μια δεδομένη στιγμή, θα μπορούσε να συλλάβει όλες τις δυνάμεις με τις οποίες κινείται η φύση και τις αντιστοιχες καταστάσεις όλων των όντων που τη συγκροτούν, και αν ακόμα αυτή η διάνοια ήταν τόσο τεράστια, ώστε να μπορούσε να υποβάλει όλα αυτά τα δεδομένα σε ανάλυση και να συνδυάσει στην ίδια φόρμουλα τις κινήσεις των ουρανίων σωμάτων του σύμπαντος και των ελαφρότερων ατόμων ταυτόχρονα. Για μια τέτοια διάνοια, τίποτα δεν θα ήταν αβέβαιο, και το μέλλον, όπως και ο παρελθόν, θα απλώνονταν μπροστά στα μάτια της (Laplace & Dale, 1995).*

Ο Henri Poincare, ήδη από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, ανέτρεψε στο επίπεδο της μαθηματικής θεωρίας την πεποίθηση ενός προβλέψιμου κόσμου, παρόλο που ακόμα και σήμερα πολλοί θεωρούν ότι η αδυναμία προβλεψιμότητας οφείλεται απλά στις ατέλειες των υπό ανάπτυξη επιστημονικών θεωριών και των εργαλείων μέτρησης και ότι δεν πρόκειται για εγγενής αδυναμία ενός μη αντιστρέψιμου σύμπαντος. Ο Poincare, περιγράφοντας ένα δυναμικό σύστημα **εξαιρετικά ευαίσθητο στις αρχικές συνθήκες**, αναφέρει:

*Αν γνωρίζαμε επακριβώς τους νόμους της φύσης και την αρχική κατάσταση του σύμπαντος, θα μπορούσαμε να προβλέψουμε με ακρίβεια την κατάσταση αυτού του σύμπαντος μια επόμενη στιγμή. Όμως, ακόμα και αν γνωρίζαμε επακριβώς όλους τους φυσικούς νόμους και δεν*

*υπήρχαν μυστικά για μας, και πάλι θα γνωρίζαμε την αρχική κατάσταση του σύμπαντος μόνο κατά προσέγγιση. Αν αυτό μας έδινε τη δυνατότητα να προβλέψουμε την επόμενη κατάσταση με την ίδια ακρίβεια, θα ήταν ικανοποιητικό και θα μπορούσαμε να πούμε ότι το φαινόμενο προβλέφτηκε, δηλαδή ότι κυβερνάται από τους φυσικούς νόμους. Μα δεν συμβαίνει πάντα έτσι. Μπορεί να συμβεί οι ελάχιστες διαφοροποιήσεις στις αρχικές συνθήκες να οδηγήσουν σε τεράστιες διαφοροποιήσεις στο τελικό φαινόμενο. Η πρόβλεψη γίνεται αδύνατη (Prediction becomes impossible) (Mitchell, 2009).*

### *Η Επίδραση της Πεταλούδας*

Συστήματα στα οποία η ελάχιστη μεταβολή των αρχικών τους συνθηκών μπορεί και δημιουργεί δυσανάλογα μεγάλες διαφοροποιήσεις στη συμπεριφορά τους στο μέλλον, με μη γραμμικό τρόπο, ονομάζονται χαοτικά (Sawyer, 2005). Στην ορολογία της θεωρία πολυπλοκότητας, χάος σημαίνει εξαιρετική ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες. Παρόλο που το χάος στην καθημερινή ζωή σημαίνει παντελή έλλειψη τάξης και οργάνωσης, ο όρος αυτός στη θεωρία των πολύπλοκων συστημάτων εμπεριέχει την ύπαρξη ιδιοτήτων που μπορούν να προβλεφτούν με εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια (Feldman, 2012). Για αυτό και χρησιμοποιείται συχνά ο σύνθετος όρος *ντετερμινιστικό χάος* (Byrne, 1998). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συστήματος εξαιρετικά ευαίσθητου στις αρχικές συνθήκες είναι ο καιρός. Το φαινόμενο της επίδρασης της πεταλούδας στη διαμόρφωση του καιρού (*butterfly effect*) επισημάνθηκε πρώτη φορά από τον μετεωρολόγο μαθηματικό Edward Lorenz. Αν μια πεταλούδα (εικόνα 1.2) ανοιγοκλείσει τα φτερά της με συγκεκριμένο τρόπο στην Κίνα, σε βάθος χρόνου, αυτή η κίνηση μπορεί να

προκαλέσει έναν κυκλώνα στην άλλη άκρη του κόσμου. Αν η ίδια πεταλούδα ανοιγοκλείσει τα φτερά της ακόμα μια φορά, τότε ο κυκλώνας μπορεί να εκδηλωθεί σε άλλο τόπο ή χρόνο. Βέβαια, πρακτικά δεν μπορούμε να γνωρίζουμε ποια πεταλούδα προκάλεσε ποιον κυκλώνα, πόσο μάλλον όταν υπάρχουν εκατομμύρια πεταλούδες. Οι πεταλούδες μπορούν να συνεχίσουν να ανοιγοκλείνουν άφοβα τα φτερά τους και εμείς απλά να τις απολαμβάνουμε.

Με δεδομένο ότι οι αρχικές συνθήκες μπορεί να είναι γνωστές μόνο κατά προσέγγιση, όσο μεγάλη και αν μπορεί να είναι αυτή η προσέγγιση, στα χαοτικά συστήματα υπάρχει εγγενής αδυναμία πρόβλεψης της συμπεριφοράς τους στο μέλλον. Ένα σύστημα που διέπεται από απόλυτα ντετερμινιστικούς κανόνες, μπορεί σε βάθος χρόνου να επιδείξει χαοτική συμπεριφορά (Feldman, 2012). Σε ένα χαοτικό σύστημα είναι αδύνατη η πρόβλεψη, παρά τον ντετερμινισμό των κανόνων που το διέπουν, γιατί είναι αδύνατο να γνωρίζουμε επακριβώς τις αρχικές συνθήκες του συστήματος<sup>3</sup>. Η ελάχιστη διαφοροποίηση στις αρχικές συνθήκες μπορεί να οδηγήσει το σύστημα σε μια τελείως διαφορετική, και επομένως απρόβλεπτη, κατάσταση (*Prediction becomes impossible...*).

---

<sup>3</sup> Μια απλή ντετερμινιστική μαθηματική εξίσωση, όπως η  $X_{t+1} = RX_t(1-X_t)$ , μπορεί να οδηγήσει σε ένα χαοτικό και, επομένως, μη προβλέψιμο αποτέλεσμα (για την τιμή  $R = 3.569946$ , ξεκινάει η χαοτική συμπεριφορά – onset of chaos) (Mitchell, 2009).

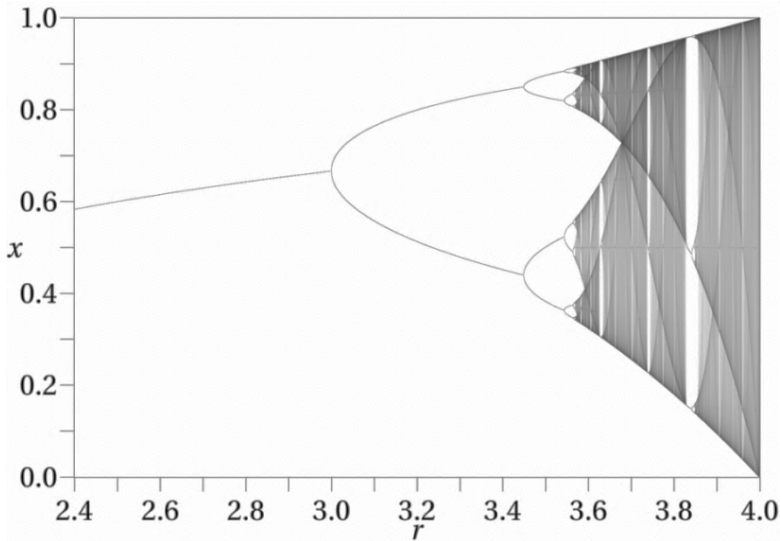


Εικόνα 1.2. Φωτογραφία πεταλούδας που τραβήχτηκε στο πάρκο Yoyogi στο Τόκιο της Ιαπωνίας το 2009 <sup>4</sup>. Η εξαιρετική ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες ενός πολύπλοκου συστήματος, όπως είναι ο καιρός στη γη, σημαίνει ότι η ελάχιστη διαφοροποίηση στο τίναγμα των φτερών αυτής τις πεταλούδας θα μπορούσε να επηρεάσει σε βάθος χρόνου τον καιρό στην άλλη άκρη του πλανήτη, οδηγώντας ακόμα και σε έναν τυφώνα. Το φαινόμενο της επίδρασης της πεταλούδας (*butterfly effect*) στη διαμόρφωση του καιρού επισημάνθηκε πρώτη φορά από τον Edward Lorenz.

Παρόλο που στα πολύπλοκα συστήματα είναι αδύνατη η πρόβλεψη σε βάθος χρόνου, ένα σύνολο χαοτικών συστημάτων εμφανίζουν αρκετά προβλέψιμες ιδιότητες. Για παράδειγμα σε μια ομάδα χαοτικών συστημάτων, ισχύει ο κανόνας ότι ο διπλασιασμός της περιόδου, οδηγεί στην έναρξη της χαοτικής συμπεριφοράς (Mitchell, 2009). Ο καιρός δεν είναι προβλέψιμος σε βάθος χρόνου, αλλά το κλίμα είναι προβλέψιμο.

---

<sup>4</sup> Φωτογραφία “ Butterfly macro” από τον χρήστη Parag.naik, μέσω Wikimedia Commons, με άδεια χρήσης CC-BY-SA-3.0. Πηγή: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Butterfly\\_macro.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Butterfly_macro.JPG)

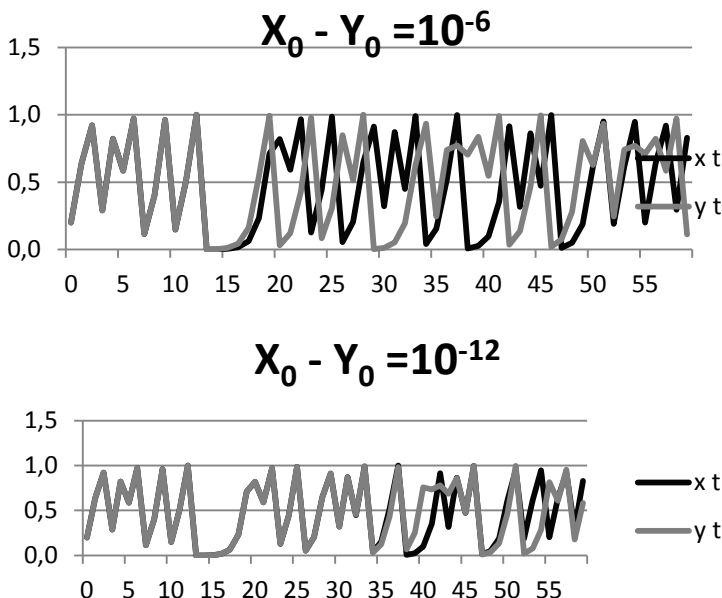


Διάγραμμα 1.1. Διάγραμμα διχαιωτών διακλαδώσεων για την εξίσωση  $X_{t+1} = RX_t(1-X_t)$ <sup>5</sup>

Η εξίσωση  $X_{t+1} = RX_t(1-X_t)$  (ονομάζεται και λογιστική απεικόνιση - logistic map) είναι μια μαθηματική, και απολύτως ντετερμινιστική, εξίσωση στην οποία ο διπλασιασμός της περιόδου οδηγεί σε χαοτική συμπεριφορά του συστήματος (Feldman, 2012). Κάθε φορά που διπλασιάζεται η περίοδος, δηλαδή σε κάθε διχαιωτή διακλάδωση (bifurcation point) όπως απεικονίζεται στο *διάγραμμα 1.1*, το σύστημα οδηγείται πιο κοντά στο χάος. Οι διχαιωτές διακλαδώσεις στα δυναμικά συστήματα αντιπροσωπεύουν απότομες και ριζικές αλλαγές στη συμπεριφορά τους οι οποίες συμβαίνουν όταν κάποια παράμετρος του συστήματος μεταβάλλεται έστω και απειροελάχιστα (Feldman, 2012). Για τιμές του  $R$  στην

<sup>5</sup> Πηγή: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:LogisticMap\\_BifurcationDiagram.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:LogisticMap_BifurcationDiagram.png). Εικόνα με άδεια ελεύθερης χρήσης.

παραπάνω εξίσωση, μικρότερες από 3, το σύστημα έχει ένα σταθερό σημείο ισορροπίας (σταθερός ελκυστής), που είναι ανεξάρτητο από την τιμή εκκίνησής του. Για τιμές του  $R$  μεταξύ 3 και 3.4 το σύστημα ταλαντώνεται ανάμεσα σε δύο τιμές (σταθερός ελκυστής με περίοδο 2).



Διάγραμμα 1.2. Συγκριτικό γράφημα για τις 60 πρώτες επαναλήψεις της ντετερμινιστικής εξίσωσης  $X_{t+1} = RX_t(1-X_t)$  (logistic map). Στο πάνω γράφημα η εξίσωση ξεκινάει από δυο αρχικές τιμές ( $X_0$  και  $Y_0$ ) που διαφέρουν μεταξύ τους μόλις κατά ένα εκατομμυριοστό. Στο κάτω γράφημα η εξίσωση ξεκινάει από δυο αρχικές τιμές ( $X_0$  και  $Y_0$ ) που διαφέρουν μόλις κατά ένα τρισεκατομμυριοστό. Παρά την εξαιρετικά μικρή διαφοροποίηση των αρχικών συνθηκών και στις δύο περιπτώσεις, η πορεία του γραφήματος διαφοροποιείται ριζικά μετά από τις πρώτες επαναλήψεις.

Η περίοδος τους σταθερού ελκυστή συνεχίζει να διπλασιάζεται σταδιακά σε κάθε διχαλωτή διακλάδωση του διαγράμματος 1.1. Σταδιακά, το σύστημα ταλαντώνεται ανάμεσα σε ένα πεπερασμένο σύνολο όλο και περισσότερων πιθανών καταστάσεων (αύξηση της συχνότητας ταλάντωσης), ώσπου η τιμή του  $R$  να γίνει ίση με 3.569946. Τότε κάτι τελείως διαφορετικό συμβαίνει. Είναι το σημείο όπου ξεκινάει η χαοτική συμπεριφορά του συστήματος (Mitchell, 2009). Από αυτό το σημείο και μετά, η παραμικρή διαφοροποίηση στις αρχικές συνθήκες του συστήματος (η ελάχιστη διαφοροποίηση σε ένα οποιοδήποτε δεκαδικό ψηφίο της τιμής του  $X_0$  στην παραπάνω εξίσωση) μπορεί να οδηγήσει σε μια δραματικά διαφοροποιημένη τελική κατάσταση. Οποιαδήποτε πρόβλεψη της τελικής κατάστασης του εν λόγω ντετερμινιστικού συστήματος είναι αδύνατη, γιατί είναι αδύνατη η γνώση της αρχικής του κατάστασης με απόλυτη ακρίβεια και η παραμικρή διαφοροποίηση σε αυτή την αρχική κατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε **δραματικά δυσανάλογη** αλλαγή στην τελική κατάσταση. Το σύστημα είναι χαοτικό, ταλαντώνεται γύρω από έναν παράξενο ελκυστή (strange attractor) (Mitchell, 2009). Ωστόσο, και στο χαοτικό τμήμα του διαγράμματος 1.1 (δεξιά της τιμής  $R = 3.569946$ ) μπορούμε να παρατηρήσουμε “παράθυρα” περιοδικής συμπεριφοράς του συστήματος (λευκά τμήματα του διαγράμματος), δηλαδή διαστήματα στα οποία το σύστημα ταλαντώνεται ανάμεσα σε ένα πεπερασμένο πλήθος διαφορετικών καταστάσεων. Επίσης, παρατηρούμε και κάποιες μαύρες καμπύλες γραμμές να διατρέχουν τις σκούρες (χαοτικές) περιοχές του διαγράμματος. Αυτό σημαίνει ότι ενώ στις χαοτικές περιοχές το σύστημα μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε δυνατή ενδιάμεση κατάσταση (άπειρες τιμές), ωστόσο δείχνει μια “προτίμηση” για συγκεκριμένες καταστάσεις (Feldman, 2012).

Στο διάγραμμα 1.2 γίνεται εμφανές γιατί δεν μπορεί να υπάρξει μακρινός ορίζοντας προβλεψιμότητας. Σε βάθος χρόνου, κάθε δυνατότητα πρόβλεψης της κατάστασης του συστήματος χάνεται. Αυξάνοντας την ακρίβεια μιας μέτρησης στο παραπάνω σύστημα (το οποίο μαθηματικά είναι ένα απολύτως ντετερμινιστικό σύστημα), κατά ένα εκατομμύριο φορές (αλλάζοντας το δωδέκατο δεκαδικό ψηφίο - στην πράξη ανέφικτη ακρίβεια μέτρησης) επιτυγχάνουμε μόνο μια ελάχιστη επιμήκυνση του ορίζοντα προβλεψιμότητας (από το 15 στο 40). Για αρχικές τιμές της ντετερμινιστικής εξίσωσης  $X_{t+1} = RX_t(1-X_t)$  (λογιστική απεικόνιση) που διαφέρουν μόλις κατά ένα τρισεκατομμυριοστό (με τέτοια ακρίβεια είναι πρακτικά αδύνατο να γίνει εμπειρική μέτρηση σε οποιοδήποτε φυσικό μέγεθος) η πρόβλεψη της τελικής κατάστασης γίνεται αδύνατη για πέρα από τις 45 περίπου επαναλήψεις (Feldman, 2012).

Το φαινόμενο των διχαλωτών διακλαδώσεων στο δυναμικό σύστημα μιας ντετερμινιστικής μαθηματικής εξίσωσης, όπως είναι η  $X_{t+1} = RX_t(1-X_t)$ , καταδεικνύει ότι το φαινόμενο των ξαφνικών και ριζικών αλλαγών και της χαοτικής συμπεριφοράς είναι εγγενής ιδιότητα κάποιων συστημάτων, ανεξάρτητη των ενδεχόμενων εξωτερικών επιδράσεων (Feldman, 2012). Αν ένα δυναμικό σύστημα μπορεί να αλλάξει ξαφνικά, χωρίς εξωτερική επίδραση, και η τελική του κατάσταση είναι αδύνατο να προβλεφτεί, λόγω εγγενών χαρακτηριστικών του, μπορούμε να αναλογιστούμε τι μπορεί να συμβεί σε ένα πολύπλοκο ζωντανό σύστημα που δέχεται συνεχώς επιρροές από το περιβάλλον του. Η μελέτη της δυναμικής της εξίσωσης της λογιστικής απεικόνισης καταδεικνύει ότι σε ένα πολύπλοκο ζωντανό σύστημα μια δραματική αλλαγή της συμπεριφοράς του μπορεί να μην οφείλεται σε εξωτερική επίδραση αλλά να είναι αποτέλεσμα εγγενών χαρακτηριστικών του. Δεν χρειάζεται να αναζητούμε πάντα εξωτερικές επιρροές για να ερμηνεύσουμε

μια αλλαγή. Σε αυτή την περίπτωση, πρακτικά δεν μπορούμε να αποφανθούμε για την ακριβή αιτία της αλλαγής, ούτε αν είναι αποτέλεσμα εσωτερικής ιδιότητας ή εξωτερικής επιρροής, ή κάποιου μη γραμμικού συνδυασμού τους, λόγω της εξαιρετικής ευαισθησίας του πολύπλοκου συστήματος στις αρχικές συνθήκες που, έτσι και αλλιώς, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε με ακρίβεια ούτε εκατομμυριοστού, ούτε τρισεκατομμυριοστού. Αν χύσουμε ένα μπουκάλι νερό στη θάλασσα, μπορεί δυο γειτονικά μόρια νερού, ακολουθώντας διαφορετικές διχαλωτές διακλαδώσεις, να καταλήξουν τελικά σε διαφορετικούς ωκεανούς, ενώ αυτή η διαδικασία είναι μη αναστρέψιμη: δεν μπορούμε να ενώσουμε ξανά αυτά τα μόρια του νερού, δεν γνωρίζουμε καν που μπορεί να βρίσκονται.

#### *Ο αριθμός 4.6692016...*

Μια χαρακτηριστική ιδιότητα του χαοτικού συστήματος της εξίσωσης  $X_{t+1} = RX_t(1-X_t)$ , είναι η σταθερά του Feigenbaum. Ο Mitchell Feigenbaum, ταυτόχρονα με την ομάδα των Couillet και Tresser, ανακάλυψε ότι κάθε σημείο διχαλωτής διακλάδωσης (δηλαδή κάθε σημείο διπλασιασμού της περιόδου της συνάρτησης) εμφανίζεται περίπου 4.6692016 φορές πιο γρήγορα από το προηγούμενο (Feldman, 2012; Mitchell, 2009). Δηλαδή πολλά χαοτικά συστήματα εμφανίζουν μια συμπεριφορά βρόχου θετικής ανατροφοδότησης, με όρους γενικής θεωρίας συστημάτων.

Κάθε διχαλωτή διακλάδωση φέρνει το σύστημα πιο κοντά στην επόμενη διχαλωτή διακλάδωση, με προβλέψιμο τρόπο, παρόλο που στο κατώφλι του χάους, μακράν των καταστάσεων ισορροπίας που βρίσκονται πέραξ των σταθερών ελκυστών, είναι αδύνατο να προβλέψουμε σε ποια κατάσταση θα βρεθεί τελικά

---

## ΑΝΤΙ ΕΠΙΛΟΓΟΥ

*Έχουμε τη συνήθεια, όταν γράφουμε επιστημονικές δημοσιεύσεις, η εργασία μας να είναι όσο περισσότερο ολοκληρωμένη γίνεται, να καλύπτουμε όλες τις περιπτώσεις, να μην ανησυχούμε για τα αδιέξοδα ή για να περιγράψουμε πως είχαμε μια λάθος ιδέα αρχικά και τι συνέβη. Τελικά, δεν υπάρχει ένα μέρος στο οποίο να μπορείς να δημοσιεύσεις, με έναν αξιοπρεπή τρόπο, τι ακριβώς έκανες προκειμένου να καταφέρεις να ολοκληρώσεις την τελική σου εργασία. ...<sup>94</sup>*

Και κάπου εδώ, το παρόν εγχείρημα για τη συγκρότηση μιας παιδαγωγικής βασισμένης στη θεωρία των πολύπλοκων συστημάτων ολοκληρώνεται. Ολοκληρώνεται, με την έντονη πεποίθηση ότι η προσπάθεια αυτή αποτελεί ένα πρώτο μέρος μιας διεργασίας εν τω γίνεσθαι. Ως μέρος μιας εξελισσόμενης διεργασίας δεν θα είναι ποτέ σε τελική μορφή και πάντα θα αναπτύσσεται. Και αυτή η διεργασία εκτείνεται χρονικά. Ο χρόνος είναι απολύτως αναγκαία συνθήκη ανάπτυξης, ωρίμανσης και εξέλιξης μιας ζωντανής διεργασίας.

---

<sup>94</sup> Ο Richard Feynman στην ομιλία του κατά την απονομή του βραβείου Νόμπελ Φυσικής, στις 11 Δεκεμβρίου 1965. Πηγή: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1965/feynman-lecture.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/feynman-lecture.html)

Κάποτε ο εκπαιδευτικός ήταν ο σοφός επί σκηνής, η αυθεντία που είχε κατακτήσει τη βαθιά γνώση ενός γνωστικού αντικειμένου και μπορούσε πλέον με αξιοσύνη να μεταλαμπαδεύσει τις γνώσεις του στους μαθητές του. Σήμερα, στην εποχή των συνεχών αλλαγών και των ανατροπών, στην εποχή της αποσταθεροποίησης, μακριά από κάθε υποψία ισορροπίας, το παραπάνω μοντέλο έχει ανατραπεί. Ο σοφός επί σκηνής (*sage on the stage*) πρέπει να δείχνει ότι ξέρει την απάντηση σε κάθε ερώτημα που του κάνουν, ενώ οι μαθητές του θα κληθούν στα επόμενα χρόνια τη ζωής τους, να δώσουν απαντήσεις σε ερωτήματα που δεν έχουν τεθεί ξανά στην ανθρώπινη ιστορία. Ο σοφός επί σκηνής αποτελεί πλέον ένα άχρηστο μαθησιακό μοντέλο για τους μαθητές του, ένα λάθος πρότυπο προς μίμηση. Αντίθετα, οι μαθητές σήμερα χρειάζονται το μοντέλο ενός δασκάλου ευέλικτου, που δεν φοβάται να παραδεχτεί ότι δεν ξέρει κάτι, αλλά επιδεικνύει την ικανότητα να αναζητεί και να βρίσκει την απάντηση σε αυτά που δεν γνωρίζει και να προσαρμόζεται στο αναπάντεχο, ενός δασκάλου που αποτελεί ιδανικό πρότυπο μαθητή για τους μαθητές του στη σημερινή εποχή. Μόνο έτσι μπορεί να τους καθοδηγήσει σε έναν κόσμο, όπου το αναπάντεχο είναι ο κανόνας.

Αν ο αποτελεσματικός δάσκαλος σήμερα δεν είναι *sage on the stage*, αλλά αποτελεί ένα πρότυπο μαθητή για τους μαθητές του, τότε σε τι διαφέρει από αυτούς; Είναι απλά ένας μαθητής ανάμεσα σε άλλους μαθητές; Πρόκειται για ένα σύγχρονο αμεσο-δημοκρατικό μοντέλο διδασκαλίας, όπου ο δάσκαλος δεν ξεχωρίζει από τους μαθητές του; Πρόκειται για ένα μοντέλο ομοτίμων *peer-teaching*; Η απάντηση στα παραπάνω ερωτήματα είναι κατηγορηματικά όχι. Ο δάσκαλος διαφέρει από τους μαθητές του γιατί αυτός είναι που αναλαμβάνει την ευθύνη του μαθήματος και της διδασκαλίας. Αυτός είναι που ενορχηστρώνει, συντονίζει, καθοδηγεί, δοκιμάζει, προσαρμόζει,

ανατρέπει και επινοεί κάθε φορά τη διδακτική του πράξη. Η ανάληψη αυτής της ευθύνης τον διαφοροποιεί από τους μαθητές. Η ανάληψη αυτής της ευθύνης γίνεται χωρίς ο δάσκαλος να τοποθετείται στο ρόλο του σοφού επί σκηνής, αλλά στο ρόλο του *guide on the side*, στο ρόλο του οδηγού στο πλάι των μαθητών. Στο πλάι και οδηγού, και ο ίδιος μαθητής-πρότυπο για τους μαθητές και, και ταυτόχρονα οδηγός τους σε έναν σύμπλοκο και απρόβλεπτο κόσμο.

Η ανάληψη της ευθύνης του δασκάλου σε έναν απρόβλεπτο, σύμπλοκο και ευμετάβλητο κόσμο, σε μια κοινωνική πραγματικότητα μακράν της ισορροπίας, αποτελεί βαρύ φορτίο. Δάσκαλος και μαθητές συγκροτούν ένα σύμπλοκο σύστημα που συνεξελίσσεται και συµμεταβάλλεται. Όταν το πλαίσιο γίνεται ιδιαίτερα τοξικό, λόγω των κοινωνικών αναταράξεων (ανεργία, οικονομική κρίση, πόλεμοι, φτώχεια και κοινωνικές ανακατατάξεις) το φορτίο του δασκάλου γίνεται δυσβάσταχτο. Δυστυχώς, ο σύγχρονος δάσκαλος είναι συνήθως απροετοίμαστος να αντιμετωπίσει το βάρος του ρόλου που αναλαμβάνει. Ο σημερινός δάσκαλος είναι αθωράκιστος μπροστά στους κινδύνους που αντιμετωπίζει, όπως οι πρώτοι εργάτες που εκτίθονταν σε σκόνη αμιάντου στην εργασία τους. Πέρα από οποιαδήποτε ουτοπική ή δυστοπική προδιάθεση, η σύγχρονη τεχνολογικά διαμεσολαβημένη, δικτυακή κοινωνική πραγματικότητα ενέχει κινδύνους οι οποίοι ακόμα δεν έχουν προσδιοριστεί, δεν έχουν ονομαστεί καν. Ο σύγχρονος δάσκαλος στο σημερινό εκπαιδευτικό πλαίσιο, που βρίσκεται σε συνεχή διαδικασία αλλαγής, σε συνθήκες αποσταθεροποίησης, μακράν της ισορροπίας, ακροβατεί στο κατώφλι του Χάους. Η ευκαιρία είναι μεγάλη όπως και ο κίνδυνος. Είναι πλεονέκτημα να είσαι δάσκαλος σήμερα... Για όσους τα καταφέρουν. Απαιτείται μεγάλη ενημερότητα και καλλιέργεια της συναισθηματικής νοημοσύνης από τη μεριά του δασκάλου.

Μέσα από τη συστημική οπτική γίνεται σαφές ότι για να είναι αποτελεσματική η διδασκαλία, για να εξελιχθούν οι μαθητές, για να προοδεύουν και να αναπτυχθεί συνολικά το σύμπλοκο σύστημα μιας τάξης, χρειάζεται να μεγαλώσουν όλα τα μέρη που το συγκροτούν με τη δράση τους, και οι μαθητές και ο δάσκαλος. Η ανάπτυξη των μαθητών δεν μπορεί να είναι ικανοποιητική, χωρίς την παράλληλη ανάπτυξη του δασκάλου τους.

Ζούμε στο Χρονότοπο του διαδικτύου. Σήμερα, ένα μεγάλο μέρος της κοινωνικής μας ζωής διαδραματίζεται στα social media. Ο Χρονότοπος του διαδικτύου έχει κάποια μοναδικά, πρωτοεμφανιζόμενα χαρακτηριστικά (affordances). Σήμερα η πληροφορία ανασύρεται με μοναδική ευκολία. Η αναζήτηση έχει ένα όνομα: Google. Αν ψάχνουμε κάτι το γκουγκλάρουμε. Είναι εύκολο για τους μαθητές να ψάξουν οτιδήποτε στο διαδίκτυο, να βρουν τα πάντα στη Wikipedia. Όμως, πως ελέγχεται η αξιοπιστία της πληροφορίας; Με τον ίδιο τρόπο που διαδίδονται οι γνώσεις ταχύτατα και παγκόσμια, διαδίδονται και οι ψευδείς ειδήσεις (hoaxes), τα κίβδηλα (fake) ψηφιακά τεχνήματα (artifacts). Ο Χρονότοπος του διαδικτύου συγκροτεί τη δική του κουλτούρα και επιβάλει την απόκτηση από τους μαθητές πολλών διαφορετικών ειδών εγγραμματοσύνης. Για να χρησιμοποιήσεις τη Wikipedia με ασφάλεια και αποτελεσματικά χρειάζεσαι βικιπαιδική εγγραμματοσύνη. Για να κινηθείς σε οποιαδήποτε χώρα του διαδικτυακού Χρονότοπου, χρειάζεσαι την αντίστοιχη εγγραμματοσύνη.

Η ευρεσιμότητα των πάντων (Google), η διατήρηση των ψηφιακών αλληλεπιδράσεων στο διηνεκές (Google, social media), η παγκόσμια εμβέλεια του ψηφιακού περιεχομένου (Internet), η διαρκής αλληλεπίδραση με τον ιστό (smartphones), είναι χαρακτηριστικά που αυξάνουν δραματικά τη συμπλοκότητα της κοινωνικής μας ζωής στη σημερινή

ιντερνετική εποχή (boyd, 2014). Και όμως, το σχολείο σε θεσμικό επίπεδο επιμένει παραδοσιακά. Σήμερα τα κινητά τηλέφωνα απαγορεύονται στα σχολεία. Όμως οι νέοι ελάχιστα χρησιμοποιούν τα smartphones ως κινητά τηλέφωνα. Και αυτό συμβαίνει συνήθως όταν επικοινωνούν με τους γονείς τους. Στον υπόλοιπο χρόνο, το smartphone χρησιμοποιείται είτε ως φωτογραφική μηχανή, για λήψη φωτογραφιών που αργότερα ή την ίδια στιγμή θα μεταφορτωθούν στο Facebook, προκειμένου να σχολιαστούν και να μαζέψουν like, είτε για εφαρμογές μηνυμάτων (messenger, viber), είτε για ατομικά ή ομαδικά παιχνίδια. Απαγορεύονται και οι φωτογραφικές μηχανές στο μάθημα. Όμως τι θα γίνει όταν έρθουν τα γυαλιά της Google με την ενσωματωμένη κάμερα; Και πως θα μπορέσουν να λειτουργήσουν αυτές οι απαγορεύσεις, όταν οι ψηφιακές αυτές συσκευές γίνουν δυοδιάκριτες και ο εντοπισμός τους αδύνατος; Οι σύγχρονες τεχνολογίες των κοινωνικών μέσων είναι εξαιρετικά διασπαστικές. Ένας συνεχής καταιγισμός πληροφοριών και μηνυμάτων στα οποία οι έφηβοι ανταποκρίνονται, εμπλεκόμενοι σε δυνητικές κοινωνικές αλληλεπιδράσεις. Η συμπλοκότητα της ψηφιακής ζωής ενός σύγχρονου έφηβου είναι τόσο μεγάλη που απαιτεί ένα διαφορετικό στήσιμο της Εκπαίδευσης, ώστε αφενός να θέτει τα σωστά όρια, αφετέρου να προλαμβάνει μια σχολική πραγματικότητα που θα κάνει το βίο μαθητών και δασκάλων, αβίωτο.

Ένας δάσκαλος στο τέλος της καριέρας του, λίγο πριν τη συνταξιοδότησή του, θα έπρεπε να είναι πιο αποτελεσματικός, πιο καλλιεργημένος, λιγότερο αγχώδης, πιο ολοκληρωμένος επαγγελματίας και Δάσκαλος. Αν δεν είναι, αν είναι κατάκοπος, καταθλιπτικός, “καμένος” (burn-out), μίζερος, αν θυσιάστηκε για τα παιδιά και τώρα είναι άρρωστος, τότε κάτι δεν πάει καλά, κάτι δεν γίνεται σωστά. Αντί να κατηγορούμε το σύγχρονο

δάσκαλο, αντί τον αξιολογήσουμε αρνητικά και να τον απολύουμε, αντί να κατηγορήσουμε τη σύγχρονη νεολαία και το διαδίκτυο, αντί να επικεντρωθούμε στο “πρόβλημα”, ως συλλογιστούμε μήπως μπορούμε να αλλάξουμε τις συνθήκες. Μήπως το μοντέλο του σχολείου που χρησιμοποιούμε σήμερα, το μοντέλο ενός σχολείου που αντιπροσωπεύει την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης και της συνακόλουθης αστικοποίησης, δεν πρέπει να είναι το επιθυμητό μοντέλο σχολείου στην εποχή της δικτυωμένης κοινωνίας; Τι πρέπει να αλλάξουμε; Γιατί δεν αλλάζουμε τις συνθήκες, γιατί δεν δοκιμάζουμε άλλα μοντέλα, ώστε να πάρουμε διαφορετικά αποτελέσματα; Πολύ φοβάμαι ότι αν δεν γίνουν τολμηρές αλλαγές στον τρόπο που λειτουργεί το σύγχρονο σχολείο, θα θερίσουμε μια γενιά προβληματικών δασκάλων και καταπιεσμένων παιδιών. Παιδιών στερημένων από την εκπαίδευση που τους αξίζει στον 21<sup>ο</sup> αιώνα. Ούτε οι δάσκαλοι ούτε οι μαθητές μας το αξίζουν αυτό.

Όπως επισημαίνει εύστοχα ο Piaget: *“στις περισσότερες χώρες το εκπαιδευτικό σύστημα παράγει φιλολόγους, γλωσσολόγους, ιστορικούς και μαθηματικούς αλλά αποτυγχάνει να εκπαιδεύσει διερευνητικά μυαλά. Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι είναι πολύ δυσκολότερο να εκπαιδεύσεις ένα μυαλό που πειραματίζεται σε σχέση με ένα μαθηματικό μυαλό...”* (Munari, 1994). Το μυαλό ενός μαθηματικού που παράγει το σύγχρονο εκπαιδευτικό σύστημα, σκέφτεται εντός του κουτιού, όταν το ζητούμενο είναι να μπορείς να σκεφτείς, αλλάζοντας ενίοτε το πλαίσιο και τις συνθήκες, να σκεφτείς έξω από το κουτί στο οποίο έχεις τοποθετηθεί εσύ και το πρόβλημα. Η αποστήθιση πληροφοριών που θα εξεταστούν με τυποποιημένα τεστ, ενδεχόμενα μέσα από μια τράπεζα θεμάτων, ακόμα και αν αυτές οι πληροφορίες αφορούν τη διαδικασία επίλυσης γνωστών προβλημάτων,

διδάσκει στο μαθητή να σκέφτεται εντός του κουτιού και καταστέλλει την καλλιέργεια του διερευνητικού νου.

Ο σημερινός μαθητής κατακλύζεται καθημερινά από έναν τεράστιο όγκο πληροφοριών τις οποίες καλείται να διαχειριστεί αποτελεσματικά χωρίς να αποδιοργανωθεί ο ίδιος (information overdose). Μια απλή αναζήτηση στο Google επιστρέφει άμεσα εκατομμύρια αποτελέσματα, ενώ κάθε αποτέλεσμα εμπεριέχει δεκάδες υπερσυνδέσεις προς άλλες πηγές πληροφόρησης, που με τη σειρά τους περιέχουν συνδέσεις προς δεκάδες άλλες πηγές, κοκ. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος δεν ήταν προετοιμασμένος, δεν είναι “hardwired”, για να διαχειριστεί τέτοιο ασύλληπτο όγκο πληροφοριών. Η δεξιότητα αυτή διδάσκεται; Από ποιους; Από τους ενήλικες δασκάλους; Αφού δεν την έχουμε εμείς οι ίδιοι. Όμως, είναι αναγκαίο να καλλιεργήσουμε στους μαθητές μια δεξιότητα, την οποία εμείς οι ίδιοι αγνοούμε. Η πρόκληση είναι να καταφέρουμε να καλλιεργήσουμε αυτή τη δεξιότητα, χωρίς να την κατέχουμε. Αν το καταφέρουμε, θα την έχουμε αποκτήσει και εμείς, ενώ το πιθανότερο και το ζητούμενο είναι οι μαθητές μας να γίνουν τελικά καλύτεροι από εμάς σε αυτό τον τομέα.

Δεν μπορώ να προτείνω τον τρόπο καλλιέργειας αυτής της δεξιότητας, γιατί δεν τον γνωρίζω. Μπορώ, όμως, να προτείνω τη στρατηγική. Μέσα από τη διεργασία της εκπαιδευτικής ομάδας, ο δάσκαλος συγκροτεί μια συντονισμένη ομάδα με τους μαθητές του, ένα ενιαίο όλον που συνεξελίσσεται και συμμεταβάλλεται. Ο δάσκαλος σε ρόλο guide on the side, προσπαθεί όχι να ελέγξει τη διεργασία της ομάδας, αλλά να την σπρώχνει κάθε φορά προς την επιδιωκόμενη κατεύθυνση, εκμεταλλευόμενος τον πλούτο των μαθητών του, τις δεξιότητες που αυτοί έχουν και αυτός αγνοεί, για να πετύχει το στόχο. Η δεξιότητα διαχείρισης ενός τεράστιου όγκου πληροφοριών, τα διαφορετικά είδη ψηφιακής εγγραμματοσύνης που είναι

απαραίτητα σε έναν δικτυακό πολίτη, η ικανότητα ενός ατόμου να αυτό-οργανώνει δια βίου τη μάθηση του, είναι μερικές από τις ικανότητες, δεξιότητες και γνώσεις που χρειάζεται ο σημερινός μαθητής. Πολλές ακόμα δεξιότητες, δεν έχουν καν αρθρωθεί, δεν έχουμε καμία επίγνωση για αυτές. Όλες αυτές οι δεξιότητες και γνώσεις, ρητές και άρρητες, ακόμα και αν καλλιεργηθούν με επιτυχία, πως είναι δυνατόν να εξεταστούν με τυποποιημένες τεστ από τράπεζα θεμάτων; Δεν είναι δυνατόν. Αντίθετα, τα τυποποιημένα τεστ εμποδίζουν την καλλιέργεια αυτών των ιδιοτήτων, γιατί κατευθύνουν την εκπαιδευτική διαδικασία στη διδασκαλία των τεστ και των απαντήσεων σε αυτά. Οι σημερινοί έφηβοι θα κληθούν κατά τη διάρκεια της ζωής τους να αντιμετωπίσουν προβλήματα και να διαχειριστούν καταστάσεις που δεν χουν καμιά σχέση με τις απαντήσεις σε τυποποιημένα τεστ και σε τυποποιημένα προβλήματα.

Ένας καλός τρόπος να δοκιμαστούν νέα μοντέλα διδασκαλίας είναι μέσω της λειτουργίας των πρότυπων πειραματικών σχολείων, ως πειραματικά και όχι ως σχολεία υποτιθέμενων αρίστων. Η πολιτεία μπορεί να κάνει πολλά για την ουσιαστική αναβάθμιση της εκπαίδευσης. Ωστόσο, εκτιμώ ότι οι συνάδελφοι εκπαιδευτικοί δεν θα πρέπει να ελπίζουν στην έξωθεν σωτήρια παρέμβαση του υπουργείου παιδείας, γιατί πολύ απλά αυτή μπορεί να μην έρθει ποτέ. Μέσα από την προσωπική μας επαγγελματική και συναισθηματική ανάπτυξη και μέσα από τη συλλογική μας δράση και τη διεργασία της ομάδας, ξεκινώντας από το επίπεδο της σχολικής κοινότητας, χρειάζεται να αρθρώσουμε το δικό μας λόγο και να προχωρήσουμε σε πράξεις, ώστε να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για μια αλλαγή ευρύτερης κλίμακας. Μια πεταλούδα μπορεί να προκαλέσει με τα φτερά της τυφώνα στην άλλη άκρη του κόσμου. Ακόμα και αν δεν προκαλέσει τον αναμενόμενο τυφώνα, θα χαρεί το πέταγμά της.

Δυστυχώς, το παρωχημένο μοντέλο του σοφού επί σκηνής έχει επηρεάσει και τους ερευνητές που προσπαθούν να εμφανίσουν μια εικόνα τελειότητας στην επιστημονική έρευνα. Έτσι, οι επιστημονικές δημοσιεύσεις παρουσιάζουν μια εικόνα απεγάδιαστου. Συνήθως, ο συγγραφέας εμφανίζεται να έχει ενορχιστρώσει με χαρισματικό τρόπο την έρευνα, στη συνέχεια προχωράει με υποδειγματικό τρόπο στη διεξαγωγή της και στο τέλος παρουσιάζει με πληρότητα τα αποτελέσματά της. Έτσι, αυτό που τελικά βλέπουμε είναι το αποτέλεσμα μιας διεργασίας, ενώ οι αποτυχημένες δοκιμές, τα λάθη και οι άστοχες επιλογές παραλείπονται ως μιάσματα. Όμως, τα λάθη είναι αυτά που οδήγησαν σταδιακά στο αποτέλεσμα και μαζί με τις επιτυχίες προσφέρουν μια πραγματικά ολοκληρωμένη και χρήσιμη αποτύπωση της επιστημονικής έρευνας ως διεργασίας με διάρκεια και εξέλιξη. Είναι αυτό που ο Richard Feynman επισήμανε στην ομιλία του κατά την απονομή του βραβείου Νόμπελ το 1965. Χωρίς τις αποτυχίες, χωρίς τα negative data που αποκρύπτονται επιμελώς στο συρτάρι, η επιστημονική έρευνα είναι λειψή. Είναι πολύ συχνό, ένα συγγραφέας, υπό το φόβο του λάθους και για την αποφυγή της πιθανότητας αρνητικής κριτικής, να “φυλάγεται” και να προχωράει στη συγγραφή αμυντικών μονογραφιών ή επιστημονικών δημοσιεύσεων, που ενώ τυπικά είναι απεγάδιαστες και δεν μπορεί να βρεθεί κάποιο λάθος σε αυτές, ωστόσο δεν τολμούν να πουν το κάτι διαφορετικό και νέο, συνεισφέροντας έτσι ουσιαστικά στον επιστημονικό διάλογο και στην πρόοδο της επιστήμης. Σε έναν σύμπλοκο κόσμο που οργανώνεται και αναπτύσσεται μακράν της ισορροπίας, μέσα από μια σειρά διχαλωτών διακλαδώσεων που οδηγούν τα συστήματα στο ντετερμινιστικό χάος, η επιστήμη φαίνεται να προχωράει με γραμμική απλότητα. Πως είναι δυνατόν; Πως μπορεί η εξέλιξη της επιστημονικής έρευνας να παρουσιάζει απλοϊκή δυναμική,

μέσα στον πολύπλοκο κόσμο που την επινόησε; Η επιστημονική έρευνα σκόπιμα εμφανίζεται απλοϊκή, αποκρύπτοντας σκόπιμα τη συμπλοκότητά της. Όταν ως σκοπός της επιστημονικής έρευνας τίθεται ο εντοπισμός γραμμικών αλυσίδων αιτιότητας σε φαινόμενα που είναι πολύπλοκα, μη γραμμικά, τότε είναι αναπόφευκτο η ίδια η διαδικασία της έρευνας να εμφανίζεται ως μια γραμμική και απλοϊκή αλυσίδα: ερευνητικό ερώτημα, υποδειγματικός σχεδιασμός και διεξαγωγή, αποτελέσματα. Αντίθετα, όταν ο κόσμος ειδοωθεί ολιστικά, μακράν της ισορροπίας μιας νευτώνειας μηχανικής προσέγγισης, στην συμπλοκότητά του, μέσα από την εξαιρετική ευαισθησία των κοινωνικών φαινομένων στις αρχικές συνθήκες, τότε η ίδια η επιστημονική έρευνα, αντιμετωπίζεται ως μια πολύπλοκη, μη γραμμική διεργασία, ως ένα σύμπλοκο κοινωνικό φαινόμενο.

Η αυστηρή και άκαμπτη προσήλωση σε ένα επιστημονικό Παράδειγμα, εξασφαλίζει φαινομενικά την “ομοιόσταση” του ερευνητή και την ασφάλεια που αυτή συνεπάγεται, εντός των ορίων του συγκεκριμένου επιστημονικού Παραδείγματος. Όμως, ένα κλειστό σύστημα δεν προάγει τη γνώση και η ομοιόσταση οδηγεί, σταδιακά στον εκφυλισμό, στην αύξηση της εντροπίας και στο θερμοδυναμικό θάνατο. Η ζωή είναι δυνατή μόνο μακράν της ισορροπίας υποστηρίζει ο Πριγκοζίν. Και η επιστήμη αναπόφευκτα, ως μέρος της ζωής. Μακράν της ισορροπίας, ένα σύστημα εξάγει την εντροπία του στο περιβάλλον και οργώνεται σε ένα ανώτερο επίπεδο, εισάγοντας πληροφορία, όπως ο νοήμων δαίμονας στο νοητικό πείραμα του Maxwell.

Σκοπός της επιστημονικής έρευνας, σύμφωνα με τον David Bohm, δεν μπορεί να είναι απλά η συγκέντρωση γνώσεων, άλλωστε όλες οι επιστημονικές θεωρίες φτάνει κάποια στιγμή που καταρρίπτονται, αντικαθίστανται από άλλες. Σκοπός της

επιστήμης είναι η δημιουργία νοητικών χαρτών πλοήγησης που καθοδηγούν τη δράση μας σε μια πραγματικότητα που επινοείται διαρκώς από εμάς (Senge, 2006). Κάθε φορά βλέπουμε και βιώνουμε μόνο αυτό που οι ερμηνευτικοί μας φακοί μας επιτρέπουν να δούμε. Η θεωρία των πολύπλοκων προσαρμοστικών συστημάτων μας επιτρέπει να αντιληφθούμε μια πραγματικότητα όπου η μάθηση είναι δυνατή και επιθυμητή όχι μόνο σε ατομικό αλλά και σε συλλογικό επίπεδο. Σε αυτή τη θεώρηση, η μάθηση αποτελεί αναδυόμενη ιδιότητα του συλλογικού όλου, προϊόν της συνέργειας των μερών και αντιληπτή μόνο στο συλλογικό επίπεδο παρατήρησης του ενιαίου συστήματος. Ένας συμμετοχικός οργανισμός μάθησης μπορεί και αντιμετωπίζει αποτελεσματικότερα τα προβλήματα, τις δυσκολίες και τις προκλήσεις μια δικτυακά και τεχνολογικά διαμεσολαβούμενης κοινωνικής ζωής και πραγματικότητας η οποία εμφανίζει αυξημένο βαθμό συμπλοκότητας. Ένας οργανισμός μάθησης είναι πιο ανθεκτικός και προσαρμοστικός στις αλλαγές και στην αποσταθεροποίηση, σε σχέση με μια ομάδα ασύνδετων ατόμων. Συλλογικά μπορούμε, υπό προϋποθέσεις, να είμαστε περισσότερο αποτελεσματικοί από ότι ατομικά.

Πάνω σε αυτή την επιστημολογική κουλτούρα, η παρούσα μονογραφία επιχειρεί έξω από τη ζώνη ασφάλειας του ερευνητή, τη σιγουριά μιας κρατούσας παιδαγωγικής αντίληψης, τολμάει και αμφισβητεί κατεστημένες στην Ελλάδα και διεθνώς αντιλήψεις στο χώρο των επιστημών της αγωγής, αρθρώνει ευθαρσώς τα επιχειρήματα που υποστηρίζονται από τη θεωρία των πολύπλοκων συστημάτων και ασκεί καλοπροαίρετη κριτική στις εκπαιδευτικές πολιτικές. Γνωρίζουμε το ρίσκο και αναλαμβάνουμε ευχαρίστως την ευθύνη αυτή. Η εκπαίδευση είναι πολύπλοκη, ας την απολαύσουμε.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson, P. W. (1972). More Is Different. *Science*, 177(4047), 393–396.
- Bar-Yam, Y. (2004). *Making Things Work: Solving Complex Problems In A Complex World*. USA: Necsi Knowledge Press.
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: An open source software for exploring and manipulating networks. Presented at the International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. Retrieved from <http://www.aaai.org/ocs/index.php/ICWSM/09/paper/view/154>
- Bateson, G. (1972). *Steps to an ecology of mind*. Chicago: University of Chicago Press.
- Bawden, R. (2000). Valuing the epistemic in the search for betterment: the nature and role of critical learning systems. *Cybernetics and Human Knowledge*, 7(4), 5–25.
- Biswas-Diener, R., & Patterson, L. (2011). An experiential approach to teaching positive psychology to undergraduates. *The Journal of Positive Psychology*, 6(6), 477–481.
- Blondel, V. D., Guillaume, J. L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 10, 8.
- Bohm, D. (2004). *On Dialogue*. Routledge.

- Bonner, J. (2002). *Lives of a Biologist: Adventures in a Century of Extraordinary Science*. USA: Harvard University Press.
- boyd, d. (2014). *It's Complicated: The Social Lives of Networked Teens*. Yale University Press.
- Brailas, A. V. (2011). Using Wikipedia in a Course Assignment: Implications for Wikipedia Literacy in Higher and Secondary Education. In S. Sotiriou & A. Szucs (Eds.), *Never Waste a Crisis! Inclusive Excellence, Innovative Technologies and Transformed Schools as Autonomous Learning Organisations* (pp. 116–121). Athens, Greece: European Distance and E-Learning Network.
- Bramson, R., & Buss, T. (2002). Methods for Whole System Change in Public Organizations and Communities: An Overview of the Issues. *Public Organization Review*, 2(3), 211–221.
- Brigham, S. (2000). Open Space: An Innovative Technique for Participatory Planning. *Planning for Higher Education*, 28(4), 35–41.
- Broude, G. J. (1988). Rethinking the Couvade: Cross-Cultural Evidence. *American Anthropologist*, 90(4), 902–911.
- Brown, J., & Issacs, D. (1999). The World Café: Catalyzing Large-Scale Collective Learning. *Leverage Magazine by Pegasus Communications*, Cambridge, MA, (33).
- Bryson, J. M., & Anderson, S. R. (2000). Applying Large-Group Interaction Methods in the Planning and Implementation of Major Change Efforts. *Public Administration Review*, 60(2), 143–162.
- Bunge, M. (1977). Emergence and the mind. *Neuroscience*, (2), 501–509.

- Byrne, D. S. (1998). *Complexity Theory and the Social Sciences: An Introduction*. Routledge.
- Clauset, A., Newman, M. E., & Moore, C. (2004). Finding community structure in very large networks. *pre*, 70(6), 066111. <http://doi.org/10.1103/PhysRevE.70.066111>
- Clegg, S. (1979). *The Theory Of Power And Organization*. Routledge & Kegan Paul.
- Cox, D. (2002). Using Open Space Technology for School Improvement. *Journal of School Improvement*, 3(2).
- Davis, B., & Sumara, D. J. (2006). *Complexity and Education: Inquiries Into Learning, Teaching, and Research*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dewey, J. (1998). *Experience and Education*. Kappa Delta Pi.
- Doja, A. (2005). Rethinking the Couvade. *Anthropological Quarterly*, 78(4), 917-950.
- Douglas, T. (2003). *Scapegoats: Transferring Blame*. London: Taylor & Francis.
- Eldredge, N., & Gould, S. J. (1972). Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. *Models in Paleobiology*, 82, 115.
- Engeström, Y. (2008). *From Teams to Knots: Activity-Theoretical Studies of Collaboration and Learning at Work*. Cambridge University Press.
- Feldman, D. P. (2012). *Chaos and Fractals: An Elementary Introduction*. UK: Oxford University Press.
- Harvey, D. L., & Reed, M. (1994). The evolution of dissipative social systems. *Journal of Social and Evolutionary Systems*, 4(17), 371-411.
- Holquist, M. (2002). *Dialogism: Bakhtin and His World*. New York: Routledge.

- Hunter, C. A., Orloff, D. H., & Winkle-Wagner, R. (2014). Out of Our Comfort Zones: Reflections about Teaching Qualitative Research at a Distance. *The Qualitative Report*, 19(T&L3), 1–24.
- Jacomy, M., Heymann, S., Venturini, T., & Bastian, M. (2012). ForceAtlas2, A Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization. Retrieved from [http://www.medialab.sciences-po.fr/publications/Jacomy\\_Heymann\\_Venturini-Force\\_Atlas2.pdf](http://www.medialab.sciences-po.fr/publications/Jacomy_Heymann_Venturini-Force_Atlas2.pdf)
- Kauffman, S. (1996). *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. USA: Oxford University Press.
- King, A. (1993). From Sage on the Stage to Guide on the Side. *College Teaching*, 41(1), 30–35.  
<http://doi.org/10.1080/87567555.1993.9926781>
- Lambiotte, R., Delvenne, J.-., & Barahona, M. (2008). Laplacian Dynamics and Multiscale Modular Structure in Networks. *ArXiv E-Prints*.
- Laplace, P. S., & Dale, A. I. (1995). *Philosophical Essay on Probabilities*. Springer.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1992). *The tree of knowledge: the biological roots of human understanding*. Shambhala.
- McLoughlin, C. (2001). Inclusivity and Alignment: Principles of Pedagogy, Task and Assessment Design for Effective Cross-Cultural Online Learning. *Distance Education*, 22(1), 7–29.

- Meadows, D. H., & Wright, D. (2009). *Thinking in Systems: A Primer*. Earthscan.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A Guided Tour*. USA: Oxford University Press. Retrieved from <http://books.google.gr/books?id=sSgzHayrDBsC>
- Motschnig-Pitrik, R. (2008). Significant learning communities as environments for actualising human potentials. *International Journal of Knowledge and Learning*, 4(4), 383–397.
- Munari, A. (1994). Jean Piaget (1896 - 1980). *Prospects: The Quartely Review of Comparative Education*, XXIV(1/2), 311–327.
- Munroe, R., Munroe, R., & Whiting, J. M. (1973). The Couvade: A Psychological Analysis. *Ethos*, 1(1), 30–74.
- Newman, D. V. (1996). Emergence and strange attractors. *Philosophy of Science*, (63), 245–61.
- Newman, M. E., & Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *pre*, 69(2), 026113. <http://doi.org/10.1103/PhysRevE.69.026113>
- Nika, S. D. (2014). Teacher professional development: Trends, prospects and restrictions. *European Journal of Social Behaviour*, 1(1), 5–9.
- Obar, J. A. (2011). From My Dirty Little Secret to My Favorite Tool for E-Pedagogy: How One University Professor Learned to Love Wikipedia. Retrieved from <http://blog.wikimedia.org/2011/11/14/from-my-dirty-little-secret-to-my-favorite-tool-for-e-pedagogy-how-one-university-professor-learned-to-love-wikipedia/>

- Owen, H. (2008). *Open Space Technology: A User's Guide*. Berrett-Koehler Publishers.
- Palfrey, J., & Gasser, U. (2010). *Born Digital: Understanding the First Generation of Digital Natives*. Basic Books.
- Parsons, B. (2007). The state of methods and tools for social systems change. *American Journal of Community Psychology*, 39(3-4), 405-409.
- Polkinghorne, J. C. (2010). *One World: The Interaction of Science and Theology*. Templeton Press.
- Prigogine, I., & Stengers, I. (1997). *The End of Certainty. Time, Chaos, and the New Laws of Nature*. New York: Free Press.
- Sahlberg, P. (2011). *Finnish Lessons: What Can the World Learn from Educational Change in Finland*. New York: Teachers College Press.
- Sanders, I. T. (1966). *The community: an introduction to a social system*. Ronald Press Co.
- Sato, Y., Akiyama, E., & Crutchfield, J. P. (2005). Stability and diversity in collective adaptation. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 210(1-2), 21-57.
- Sawyer, R. K. (2005). *Social Emergence: Societies As Complex Systems*. Cambridge University Press.
- Schön, D. A. (1971). *Beyond the Stable State: Public and Private Learning in a Changing Society*. Maurice Temple Smith Limited.
- Seigenthaler, J. (2005, November 29). A False Wikipedia biography. *USA Today*.
- Senge, P. M. (2006). *The Fifth Discipline: The Art & Practice of The Learning Organization*. Crown Publishing Group.
- Shah, I. (1967). *Tales of the Dervishes: Teaching Stories of the Sufi Masters Over the Past Thousand Years : Selected from the*

- Sufi Classics, from Oral Tradition, from Unpublished Manuscripts and Schools of Sufi Teaching in Many Countries.*  
Penguin Compass.
- Shields, P. (2003). The Community of Inquiry. *Administration & Society*, 35(5), 510-538.
- Shirky, C. (2008). *Here comes everybody: the power of organizing without organizations.* Penguin Press.
- Skyttner, L. (2001). *General Systems Theory: Ideas & Applications.* World Scientific Publishing Company Incorporated.
- Sumara, D. J., & Davis, B. (1997). Enactivist theory and community learning: Toward a complexified understanding of action research. *Educational Action Research*, 5, 422.
- Sumara, D. J., Davis, B., & Van Der Wey, D. (1998). The Pleasure of Thinking. *Language Arts*, 76(2), 135-143.
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications.* New York: George Braziller Inc.
- Vygotsky, L. (2004). Imagination and creativity in childhood. *Journal of Russian and East European Psychology*, 42(1), 7-97.
- Weaver, W. (1948). Science and complexity. *American Scientist*, (36), 536-544.
- Wellman, B. (1999). *Networks in the global village: life in contemporary communities.* Westview Press.
- Δαφέρμος, Μ. (2002). *Η Πολιτισμική - Ιστορική Θεωρία του Vygotsky. Φιλοσοφικές - Ψυχολογικές - Παιδαγωγικές Διαστάσεις.* Αθήνα: Εκδόσεις Ατραπός.
- Κατερέλος, Ι. (2013). *Χάος και Τάξη στα Κοινωνικά Συστήματα.* Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση.

- Μπράϊλας, Α. Β. (2013). *Η Δινητική Μαθησιακή Κοινότητα: Κοινωνιο-Ψυχολογικές, Παιδαγωγικές και Τεχνολογικές Παράμετροι* (Διδακτορική Διατριβή). Πάντειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- Ντοστογιέφσκι, Φ. (2011). *Αδελφοί Καραμαζώφ*. Αθήνα: Ίνδικτος.
- Πολέμη-Τοδούλου, Μ. (2010). Η συστημική προσέγγιση: κλειδί για έναν νέο εκπαιδευτικό σχεδιασμό. *Μετάλογος, Συστημικές Προσεγγίσεις & Ψυχοθεραπεία*, (18).

## ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Ο Αλέξης Β. Μπράιλας είναι Εκπαιδευτικός και Ψυχολόγος (PhD). Εκπόνησε τη διδακτορική του διατριβή στο Τμήμα Ψυχολογίας του Παντείου Πανεπιστημίου, στο πλαίσιο υποτροφίας σπουδών από το ίδρυμα κρατικών υποτροφιών (ΙΚΥ) στην ειδίκευση των παιδαγωγικών. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα εστιάζονται στην ψυχολογία του κυβερνοχώρου, στην παιδαγωγική των πολύπλοκων συστημάτων, στη διεργασία της ομάδας σε εκπαιδευτικό πλαίσιο και στη μεθοδολογία έρευνας στο διαδίκτυο.



