

Ιόνιο Πανεπιστήμιο
Τμήμα Πληροφορικής



Πτυχιακή Εργασία

Ο ρόλος της υπολογιστικής εξελικτικής βιολογίας στην γνωστική
νευροεπιστήμη

«Ρούσσης Αριστοτέλης Π2010040»

Επιβλέπων Καθηγητής: «Παναγιώτης Βλάμος»

Κέρκυρα, Ιούνιος 2024

«Ο ρόλος της υπολογιστικής εξελικτικής βιολογίας στην γνωστική
νευροεπιστήμη»

Ρούσσης Αριστοτέλης

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής/Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:
Παναγιώτης Βλάμος

Τριμελής Επιτροπή:
Παναγιώτης Βλάμος
Θεόδωρος Ανδρόνικος
Θεμιστοκλής Έξαρχος

Κέρκυρα, Ιούνιος 2024

Περίληψη

Η εξέλιξη διάφορων επιστημών οφείλεται στον βαθμό διερεύνησης των θεμάτων που απασχολούν τους διάφορους ερευνητές. Μέσω διαδικασίας υποθέσεων και ολιστικών προσεγγίσεων ή πειραμάτων, κάθε επιστήμη διαθέτει τις δικές της μεθόδους επιστημονικής διερεύνησης. Το επιστημονικό πεδίο της βιολογίας έχει αναπτύξει με την βοήθεια της υπολογιστικής, έναν κλάδο που παρέχει εξαιρετικά εργαλεία προσέγγισης, παρατήρησης και απεικόνισης της πληροφορίας. Το πως διαχειρίζεται αυτή η πληροφορία που προκύπτει από διάφορες έρευνες αποτελεί ένα επιπλέον ζήτημα. Κάτω από όλη αυτή την προσπάθεια εύρεσης αποδοτικών και αξιόπιστων μέσων, η υπολογιστική έχει τον σπουδαιότερο ρόλο. Ειδικότερα, όσο για τις νευροεπιστήμες που μελετώνται εκτενέστατα σε αυτή την εργασία, με επίκεντρο την γνωσιακή νευροεπιστήμη, τα συστήματα απεικόνισης και μοντελοποίησης που προσφέρονται φαίνεται να αποτελεί μονόδρομο.

Στην πρώτη ενότητα αναπτύσσεται ο ρόλος της υπολογιστικής βιολογίας μέσω των κλάδων που ασχολείται και παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα αυτών. Στην δεύτερη ενότητα προσεγγίζεται ο κλάδος της γνωσιακής επιστήμης, ο οποίος αποτελεί το πεδίο παρατήρησης του γνωσιακού επιπέδου, αλλά και της γνωσιακής νευροεπιστήμης που αποπειράται να μελετήσει διάφορες γνωσιακές λειτουργίες συνδέοντάς τις με τον εγκέφαλο και το νευρικό σύστημα που αποτελεί το πλέον υπεύθυνο μέσο για την τέλεσή τους. Στην συνέχεια, στην ενότητα 3 αναλύεται ο ογκώδης κλάδος της νευροεπιστήμης και τις διάφορες μεθόδους και πρακτικές που χρησιμοποιεί μέσω της υπολογιστικής. Τέλος, κατά την ενότητα 4 παρουσιάζονται ορισμένες έρευνες που αποδεικνύουν την ουσιώδη προσφορά της υπολογιστικής βιολογίας στην γνωσιακή νευροεπιστήμη, καθώς και τα ζητήματα που συναντώνται και είναι απαραίτητο να διαμορφωθούν κατά αυτή την οπτική προκειμένου να υπάρχουν οι πολυπόθητες ανακαλύψεις και τεκμηριώσεις.

Abstract

The development of various sciences is attributed to the degree of investigation into topics that concern different researchers. Through the process of hypotheses, holistic approaches, or experiments, each science has its own methods of scientific inquiry. The scientific field of biology has developed, with the aid of computational science, a branch that provides excellent tools for approaching, observing, and visualizing information. How this information, derived from various studies, is managed presents an additional issue. Under this effort to find efficient and reliable methods, computational science plays the most significant role. Specifically, as far as neuroscience is concerned—extensively studied in this work, with a focus on cognitive neuroscience—the imaging and modeling systems offered seem to be the only path forward.

The first section outlines the role of computational biology through its various branches, providing some examples. The second section addresses the field of cognitive science, which observes cognitive processes, as well as cognitive neuroscience, which attempts to study various cognitive functions by linking them to the brain and the nervous system, which are the primary means responsible for these processes. Subsequently, section 3 delves into the vast field of neuroscience, exploring the various methods and practices it employs through computational science. Finally, in section 4, several studies are presented that demonstrate the essential contribution of computational biology to cognitive neuroscience, along with the issues encountered, which need to be addressed from this perspective in order to achieve the much-desired discoveries and evidence.

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Abstract	3
Περιεχόμενα Εικόνων	6
Εισαγωγή	8
ΕΝΟΤΗΤΑ 1 - Υπολογιστική Βιολογία	9
1.1 Εισαγωγή	9
1.2 Επιμέρους Πεδία Υπολογιστικής Βιολογίας.....	10
1.2.1 Υπολογιστική Ανατομία	10
1.2.2 Μοντελοποίηση Βιολογικών Συστημάτων	10
1.2.3 Υπολογιστική Οικολογία	10
1.2.4 Υπολογιστική Εξελικτική Βιολογία.....	12
1.2.5 Υπολογιστική Γονιδιωματική	12
1.2.6 Υπολογιστική Νευροψυχιατρική	14
1.2.7 Υπολογιστική Ογκολογία	15
1.2.8 Υπολογιστική Φαρμακολογία.....	15
1.3 Λογισμικό	17
ΕΝΟΤΗΤΑ 2 – Γνωσιακή Νευροεπιστήμη	20
2.1 Εισαγωγή	21
2.2.1 Νευρικό σύστημα.....	22
2.2.2 Νευροδιαβιβαστές.....	25
2.3 Πεδία εστίασης	26
2.3.1 Πλαστικότητα (plasticity)	27
2.3.2 Προσοχή (attention)	27
2.3.3 Αίσθηση και αντίληψη (sensation and perception).....	28
2.3.4 Συστήματα κίνησης (motor systems).....	28
2.3.5 Μνήμη (memory)	29
2.3.6 Γλώσσα (language)	30
2.3.7 Συναισθηματικός και κοινωνικός εγκέφαλος (social and emotional brain)	30
2.3.8 Λήψη αποφάσεων	31
2.3.9 Συνειδητό (consciousness).....	31
2.4 Ο εγκέφαλος.....	31
ΕΝΟΤΗΤΑ 3 - Υπολογιστική Νευροεπιστήμη	33
3.1 Εισαγωγή	33
3.1.2 Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη.....	33

3.2 Εστίαση του κλάδου	34
3.3 Τεχνολογία των νευροεπιστημών	37
3.3.1 Μέθοδοι απεικόνισης.....	37
3.3.2 Καθοδήγηση με βάση τα δεδομένα	41
3.3.3 Συλλέγοντας δεδομένα.....	42
3.4 Στατιστικές μέθοδοι και machine learning	43
3.4.1 Στατιστική (Statistics).....	43
3.4.2 Machine Learning	44
3.4.3 Συγκρίνοντας τις δύο αυτές μεθόδους	46
3.5 Μελλοντικές κατευθύνσεις και εξεταζόμενες θεωρήσεις.....	47
3.5.1 Διαφορετικές οπτικές που συνεισφέρουν στην εξέλιξη του κλάδου	47
3.5.2 Η γεφύρωση μεταξύ επιστημών.....	48
ΕΝΟΤΗΤΑ 4 – Υπολογιστική στην Γνωσιακή Νευροεπιστήμη.....	51
4.1 Ανάπτυξη διαφόρων μοντέλων.....	51
4.1.2 Successor representations	53
4.2 Η έρευνα του Fitch.....	56
4.2.2 μεταφορικά μοντέλα έναντι υπολογιστικών στις γνωσιακές επιστήμες.....	56
4.2.3 Ο ρόλος της υπολογιστικής στην διατομεακή γεφύρωση.....	59
4.2.4 Η υπολογιστική και ο νευρώνας	60
4.2.5 Περεταίρω εφαρμογές στις γνωσιακές επιστήμες.	63
4.2.6 Θεωρία προγνωστικών συστημάτων	64
4.2.7 Συμπεράσματα	68
4.3 Πολιτισμική προσκόλληση	69
4.4 Παράδειγμα μοντέλου Python	70
4.5 Υπολογιστική εξελικτική βιολογία και εγκεφαλικά ερεθίσματα.....	72
4.6 Υπολογιστική Νευροηθολογία	74
ΕΝΟΤΗΤΑ 5 – Συμπεράσματα	75
Βιβλιογραφία	76

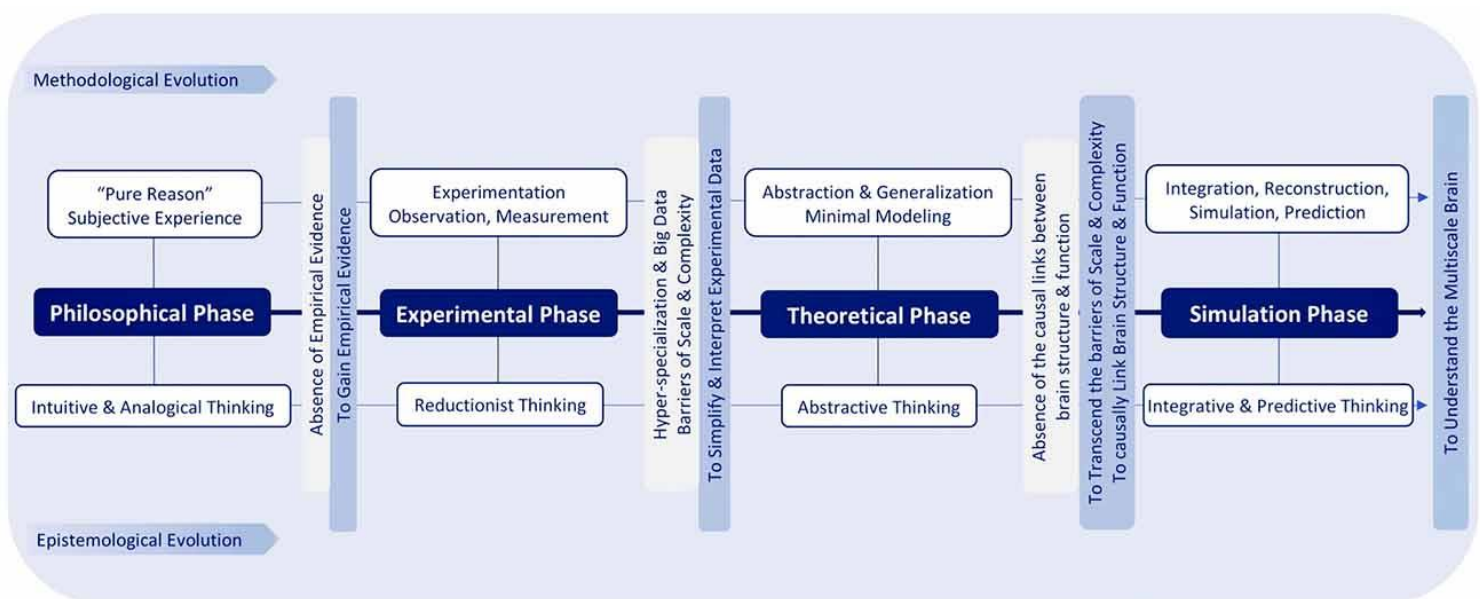
Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1 Η (επιστημολογική και μεθοδολογική) εξέλιξη στην μελέτη του εγκεφάλου. Πηγή: . Πηγή: (Fan Xue, 2019)	8
Εικόνα 2 «Παραδείγματα διαγραμμάτων Venn.» Σύγκριση στελεχών <i>Xanthomonas Oryzae</i> με EDGAR και διαφορετικά είδη <i>Streptococcus</i> σε σύγκριση με R . Πηγή: (Bagkos, 2015)	13
Εικόνα 3 Στιγμιότυπο από την στοίχιση γονιδιωμάτων, στο πρόγραμμα T-Coffee.....	14
Εικόνα 4 φασματα Raman (a) και FT Raman της combrestatin A-4.	16
Εικόνα 5 Διάγραμμα του αλγορίθμου του αυτοσυνεπούς πεδίου. Πηγή: (Ntie-Kang, 2007).	17
Εικόνα 6 Μοντέλο μιας μονόκλωνης αλυσίδας DNA. Κομμάτι απ' το αρχείο του μοντέλου της μονόκλωνης αλυσίδας. Στην πρώτη στήλη αναγράφεται η ονομασία του ατόμου και στις υπόλοιπες τρεις, οι συντεταγμένες x,y,z.	18
Εικόνα 7 Στιγμιότυπο της έκδοσης 3.0.3	19
Εικόνα 8 Φάσμα Υπεριώδους-Ορατού του αζωβενζολίου, έπειτα από υπολογισμό οπτικών και ηλεκτρονικών ιδιοτήτων στο Orca, και απεικόνισή του, στο Avogadro.Πηγή: (UCR)....	19
Εικόνα 9 Ανάλυση Biclustet.....	20
Εικόνα 10 Παραδείγματα ορισμένων νευρικών κυττάρων -όχι σε πραγματική κλίμακα μεγεθών- . Αισθητηριακοί νευρώνες, ενδονευρώνες και κινητικοί. Πηγή: (Banich et al, 2018)	23
Εικόνα 11 Οι κύριες περιοχές του εγκεφάλου με βάση το ΚΝΣ. Πηγή : (Banich et al, 2018).....	25
Εικόνα 12 Τα τέσσερα βασικότερα συστήματα νευροδιαβιβαστών. Πηγή: (Banich et al, 2018)	26
Εικόνα 13 Κατηγοριοποίηση στην μελέτη της λειτουργίας της μνήμης. Πηγή:By Bernhard Wenzl - Own work, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12820734	29
Εικόνα 14 Περιοχές του εγκεφάλου. Πηγή : (Bielza&Larranaga, 2020)	32
Εικόνα 15 Στάδια ανάπτυξης γνωσιακής νευροεπιστήμης. Πηγή: (Ren, 2019).....	34
Εικόνα 16 Ο ρόλος της υπολογιστικής νευροεπιστήμης στην διαδικασία ενσωμάτωσης δεδομένων που προκύπτουν από πειράματα διαφόρων κατευθύνσεων. .Πηγή: (Trappenberg, 2010)	36
Εικόνα 17 SEM απεικόνιση του φλοιού ενός ποντικού. Τα βέλη επισημαίνουν τις μη συμμετρικές συνάψεις (1μm not color version.). Πηγή: (Bielza&Larranaga, 2020)	38
Εικόνα 18 a)Απεικόνιση EEG και b) fMRI	39
Εικόνα 19 Μέθοδοι απεικόνισης σε σχέση με τις διαστάσεις που μελετούν. Πηγή : (Bielza&Larranaga, 2020)	41
Εικόνα 20 Κατηγορίες μηχανικής μάθησης στην νευροεπιστήμη. Πηγή : (Myszczyńska et al, 2020)	45
Εικόνα 21 Περιγραφή των μεθόδων και παραδείγματα εφαρμογών. Πηγή : (Myszczyńska et al, 2020)	46
Εικόνα 22 Γραφική αναπαράσταση της ενασχόλησης ανά επιστημονικό κλάδο (Α) και συνδυαστικά (Β). Πηγή: (Naseleris et al, 2018)	50
Εικόνα 23 Οι μέθοδοι μελέτης ζητημάτων νευρολογίας και υπολογιστικής βιολογίας. Πηγή: (Fitch, 2014).....	58
Εικόνα 24 Η απεικόνιση του νεύρου. Πηγή : (Fitch, 2014)	61

Εικόνα 25 Σχηματική απεικόνιση της προγνωστικής διαδικασίας σύμφωνα με τον Mumford – εστιάζοντας στην τυπική απόκλιση - και της παραδοσιακής θεώρησης μίας κατεύθυνσης ροής.....	65
--	----

Εισαγωγή

Στην προσπάθεια κατανόησης της λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου τόσο από βιολογική άποψη όσο και από φιλοσοφική ερμηνεία του πώς και του τί που πλαισιώνει την ανθρώπινη συμπεριφορά, έχουν συμμετέχει πολλοί επιστημονικοί κλάδοι. Η ταχέως αναπτυσσόμενη τεχνολογία είναι σε θέση να ανάγει καίριους προβληματισμούς που μελετώνται για χρόνια σε μια σειρά συμπαγών δεδομένων. Οι αλγόριθμοι και τα προγράμματα μοντελοποίησης πλέον είναι σε θέση να κατευθύνουν τις διάφορες επιστήμες που απασχολούνται από την δικιά τους οπτική σε ζητήματα εγκεφάλου και νευρολογίας σε επίπεδα που συμβαίνουν ανακαλύψεις και παγιώνονται υποθέσεις μέσω τεκμηρίωσης. Η διαδρομή αυτή σε όλα αυτά τα χρόνια είχε περιορισμούς, δυσκολίες και ζητήματα τα οποία ορισμένες φορές αποτελούσαν τροχοπέδη αυτής της εξέλιξης. Είναι πλέον αδιαμφισβήτητο, όπως εξετάζεται και στην παρούσα εργασία, πως δεν είναι μόνο επιθυμητό αλλά και απαραίτητο ορισμένες φορές.



Εικόνα 1 Η (επιστημολογική και μεθοδολογική) εξέλιξη στην μελέτη του εγκεφάλου. Πηγή: (Fan Xue, 2019)

Προσεγγίζοντας την επιστήμη της νευροεπιστήμης από την γνωσιακή σκοπιά, ανακαλύπτει κανείς την εξέχουσα συμβολή της βιολογίας και πιο συγκεκριμένα της υπολογιστικής βιολογίας. Παρατίθενται σημαντικά ορόσημα στην ανάπτυξη των δύο αυτών κλάδων, καθώς και θέσεις ορισμένων επιστημόνων που τεκμηριώνουν την επιτυχία της εν λόγω σύμπραξης με σκοπό την καταγραφή, την πρόβλεψη, την απεικόνιση και τέλος φυσικά

την κατανόηση των περίπλοκων λειτουργιών του εγκεφάλου και των νεύρων και τον τρόπο που αυτή η προσέγγιση αποτελεί την πλέον ορθή τακτική στην κατανόηση του γνωσιακού επιπέδου και του νου.

ΕΝΟΤΗΤΑ 1 - Υπολογιστική Βιολογία

1.1 Εισαγωγή

Η Υπολογιστική Βιολογία αποτελεί ένα διεπιστημονικό πεδίο και ασχολείται με την μελέτη όλων των βιολογικών, περιβαλλοντικών, κοινωνικών και συμπεριφορικών συστημάτων, καθώς επίσης και με τις μεθόδους που αξιοποιεί για να επιτύχει την εξαγωγή των συμπερασμάτων της.

Είναι μια σύνθετη έννοια. Είναι “Υπολογιστική”, γιατί έχει να κάνει κυρίως με την ενασχόληση της επιστήμης των Υπολογιστών, και “Βιολογία” διότι ασχολείται πιο συνεκτικά με όλους τους κλάδους των βιοεπιστημών.

Όσον αφορά τον υπολογιστικό χαρακτήρα αυτής, έχουμε να κάνουμε με μεθόδους υπολογισμού από τον χώρο της επιστήμης των υπολογιστών, χωρίς όμως να σημαίνει ότι η Υ.Β. είναι Πληροφορική. Το θεωρητικό-μαθηματικό υπόβαθρο και οι τεχνικές υπολογισμού και σύνθεσης δεδομένων για τα βιολογικά συστήματα αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της Υ.Β., ωστόσο η επινόηση αποτελεσματικότερων αλγορίθμων, η κατανόησή τους και ένα προχωρημένο προγραμματιστικό επίπεδο δεν αποτελούν αυτοσκοπό αυτής. Οι υπολογισμοί που απαιτούνται είναι απλοί και πολλές φορές, τα εργαλεία προϋπάρχουν, με την μορφή έτοιμων εφαρμογών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μπορεί να συνθέσει κάποιος τα αποτελέσματά του και να εξάγει τα συμπεράσματά του πολύ πιο συνεκτικά και χωρίς να αναλώνεται με τις ώρες επινοώντας αλγορίθμους.

Τώρα, για την Βιολογία, είναι η βάση του διεπιστημονικού αυτού πεδίου. Ξεφεύγει από την στερεοτυπική εικόνα που έχει τον Βιολόγο κλεισμένο σε ένα εργαστήριο και πάνω από ένα μικροσκόπιο ή μια Βιβλιοθήκη και τον ίδιο περιτριγυρισμένο από βιβλία. Και αυτό συμβαίνει διότι το εργαλείο του βιολόγου στην Υ.Β. είναι ο τεράστιος όγκος δεδομένων βιολογικών συστημάτων και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από αυτόν, για να βγάξει “νόημα”. Αναλύει δεδομένα, έχοντας βαθιά κατανόηση των προβλημάτων και της πολυπλοκότητας αυτών από τον χώρο της βιολογίας. (Νικολάου, 2015)

1.2 Επιμέρους Πεδία Υπολογιστικής Βιολογίας

1.2.1 Υπολογιστική Ανατομία

Η υπολογιστική ανατομία ασχολείται με την ποσοτική ανάλυση της ποικιλομορφίας όμοιων βιολογικών σχημάτων και συστημάτων και ερευνά τα αίτια που προκαλούν αυτές τις διαφορές χρησιμοποιώντας μια μεθοδολογία όπου στο κέντρο της βρίσκονται η στατιστική και η διαφορική γεωμετρία. Η υπολογιστική ανατομία, ασχολείται με την απεικόνιση έμβιων οργανισμών και κυρίως του ανθρώπινου σώματος και των ασθενειών που σχετίζονται με αυτό. Σε πρώτο στάδιο, οι επιστήμονες εστίαζαν σε κάθε όργανο του σώματος μεμονωμένα. Το ενδιαφέρον για την υπολογιστική ανατομία όμως, ώθησε τους επιστήμονες να αναπτύξουν πιο περίπλοκα ανατομικά υπολογιστικά μοντέλα όπου περιλαμβάνονται συστήματα περισσότερων του ενός οργάνων. Αυτά τα πολυ-οργανικά συστήματα, μας δίνουν μια ακριβέστερη απεικόνιση της ανατομίας των οργανισμών και συνεπώς, και του ανθρώπινου σώματος. Σε αυτή την ακρίβεια συμβάλλουν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οργάνων και δεν έχουμε να κάνουμε μονάχα με ακριβέστερη χωρική απεικόνιση, αλλά και με λειτουργικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά των επιμέρους συστημάτων. Ένα παράδειγμα αποτελεί η ταυτοποίηση του βιολογικού φύλου μέσω της τρισδιάστατης απεικόνισης των οστών ενός ανθρώπινου σκελετού. (ICM, χ.χ.), (Franchi et al, 2019).

1.2.2 Μοντελοποίηση Βιολογικών Συστημάτων

Αυτός ο υπο-κλαδος της Υ.Β. ασχολείται με την μοντελοποίηση κυττάρων και πως αυτά αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Ξεκινούν με την απλούστερη μονάδα που είναι το κύτταρο, και στη συνέχεια μελετούν τις αλληλεπιδράσεις που αυτά έχουν σε ένα σύνολο. Η κυριότερη αλληλεπίδραση είναι αυτή της κυτταρικής επικοινωνίας. Μελετάται πως επιτυγχάνεται αυτή η επικοινωνία τόσο σε ατομικό όσο και σε συνολικό επίπεδο. Έτσι μπορούν να προβλέψουν σε έναν μεγάλο βαθμό πως αντιδρά για παράδειγμα ένας το μυϊκό σύστημα σε εξωτερική καταπόνηση, ή πως επιδρά το νευρικό σύστημα κατά την χρήση χημικών ουσιών. (combio, n.d.)

1.2.3 Υπολογιστική Οικολογία

Είναι ένας σχετικά πρόσφατος τομέας της Υ.Β., και ερευνά όλα τα φαινόμενα και τις

μεταβολές που συμβαίνουν σε ένα οικοσύστημα, και χρησιμοποιεί στατιστικά μοντέλα προκειμένου να προβλέψει τις μεταβολές υπό την επίδραση εξωτερικών παραγόντων, και όλα αυτά, στα πλαίσια της οικολογίας, μιας «πρόσφατης» επιστήμης. (Sergei&Petrovskaya, 2012)

Έχει άμεση εφαρμογή στην γεωργία. Χρησιμοποιείται για να φτιαχτούν μοντέλα πρόβλεψης των μοτίβων κινήσεων πληθυσμών παρασιτικών εντόμων και να μελετηθεί πως αυτό μεταβάλλεται παρουσία παγίδας φερομόνης, όπως αυτά των τσιγγάνικων σκόρων (*Lymantria dispar dispar*). Η χρήση παγίδων φερομόνων είναι μια εξαιρετική μέθοδος ελέγχου πληθυσμών παρασιτικών και μη εντόμων, ειδικά σε μικρούς πληθυσμούς, χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τις καλλιέργειες λόγω της χρήσης εντομοκτόνων ουσιών. Οι παγίδες περιέχουν μόνο την φερομόνη που εκκρίνουν τα θηλυκά του είδους που θέλουμε να “ελέγξουμε”. Αυτή η μελέτη πραγματοποιήθηκε μοντελοποιώντας τόσο την παγίδα, όσο και τον πληθυσμό των αρσενικών σκόρων και λήφθηκε υπόψιν και η μεταβολή στην κατεύθυνση του αέρα. (Yamanaka)

Η συνεισφορά της Y.B., φαίνεται και σε άλλο ένα κομμάτι των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, στις ιχθυοκαλλιέργειες, όπου δημιουργούνται μοντέλα ανάπτυξης ειδών ψαριών όπως του σολωμού, ώστε να μελετηθούν τα στάδια στα οποία συμβαίνουν αλλαγές (πχ. στο συνολικό μέγεθος του ψαριού), δίνοντας έτσι δυνατότητα ελέγχου από τους ιχθυοκαλλιεργητές. (Seijo& Salas, 1998) (Kishi et al, 2010)

Τελευταίο παράδειγμα επιρροής της Y.B. αποτελεί στη δασοκομία, όπου φτιάχνονται μοντέλα όπου μπορούν να παρατηρηθούν πως η ανάπτυξη των φυτών και δέντρων επηρεάζουν την ανάπτυξη του εκάστοτε βιότοπου (πως επηρεάζει η θέση των ψηλών δέντρων την διάχυση και παροχή φωτός στο οικοσύστημα) (Vieilledent et al., 2010)

Στον τομέα της υπολογιστικής οικολογίας, τα μοντέλα που χρησιμοποιούμε, χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες και οι διαφορές τους εντοπίζονται στην πολυπλοκότητα του εκάστοτε συστήματος. Η πρώτη ονομάζεται “Προβλεπτική Μοντελοποίηση” (Predictive Modelling), και κάνουμε χρήση αυτής όταν θέλουμε να προβλέψουμε οποιαδήποτε μεταβολή μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα, όπως είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του σολομού, ή και πως επηρεάζονται οι καλλιέργειες από τους πληθυσμούς των παρασιτικών εντόμων και των εντόμων που τρέφονται με αυτά (Thomas et al, 1998). Η δεύτερη κατηγορία ονομάζεται “Εννοιολογική Μοντελοποίηση” (Conceptual Modelling), και την εφαρμόζουμε όταν θέλουμε να αναγνωρίσουμε τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα κάποιου οικοσυστήματος, όπως είναι για παράδειγμα η αύξηση ή μείωση της πυκνότητας του πληθυσμού του φυτοπλανκτόν σε μια υδάτινη περιοχή και άλλων ειδών πληθυσμών. (Powell et al, 1975)

1.2.4 Υπολογιστική Εξελικτική Βιολογία

Η υπολογιστική Βιολογία, έχει συνεισφέρει και στον κλάδο της εξελικτικής βιολογίας. Η πιο γνωστή συνεισφορά αυτής, είναι στο πρόβλημα της Φυλογενετικής Ανάλυσης. Η Φυλογενετική Ανάλυση, είναι το εγχείρημα της κοινότητας της Βιολογίας, να εντοπίσει την πιο “πιθανή” εξελικτική διαδρομή που ακολούθησαν τα βιομόρια, μέσω των γονιδιωματικών αλληλουχιών αλλά και πρωτεϊνών, με κριτήριο σύγκρισης, της αρχικής τους μορφής.

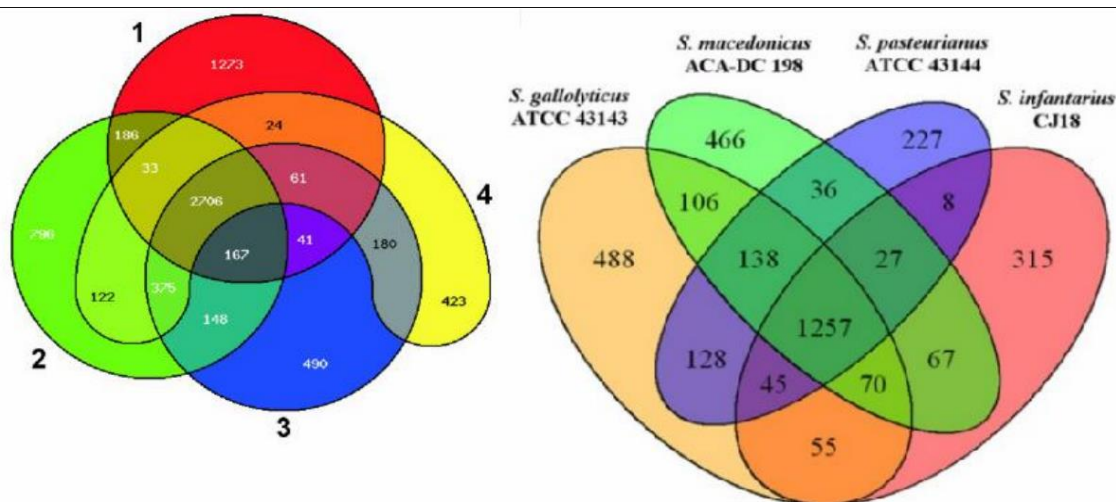
Η Φυλογενετική Ανάλυση σε βιομόρια περιλαμβάνει πέντε στάδια επεξεργασίας. Αρχικά, συγκεντρώνονται τα πρωτογενή δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την φυλογενετική ανάλυση. Τα δεδομένα αυτά αποκομίζονται από βάσεις δεδομένων, όπως για παράδειγμα η βάση δεδομένων του Διεθνούς Κέντρου Πληροφόρησης Βιοτεχνολογίας (NCBI). (Chakraborty et al, Roy, Hsu, & Agoramoorthy, 2012) Στην συνέχεια, συγκρίνονται οι πρωτογενείς αλληλουχίες και στοιχίζονται σε πρώτο στάδιο, ως προς τον βαθμό ομοιότητάς τους. Δηλαδή πόσο “κοντινά” είναι τα ποσοστά εμφάνισης των τεσσάρων βάσεων (A,T,G,C) και οι αλληλουχίες αυτών. Έπειτα υπολογίζονται οι “εξελικτικοί χρόνοι”. Ο βαθμός ομοιότητας μεταξύ δυο αλληλουχιών δεν σημαίνει απευθείας ότι υπάρχει εξελικτική σχέση. Για αυτό και σ' αυτό το στάδιο γίνονται παραδοχές και μια πιο προσεκτική μελέτη των παραμέτρων και των ιδιοτήτων των αλληλουχιών, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί μια εκτίμηση του εξελικτικού χρόνου μεταξύ των όμοιων αλληλουχιών. Επόμενο βήμα είναι η κατασκευή των φυλογενετικών δέντρων. Τα φυλογενετικά δέντρα δεν είναι τίποτε άλλο παρά διαγράμματα που απεικονίζονται οι εξελικτικές σχέσεις των όμοιων αλληλουχιών των πρώτων σταδίων. Τέλος, γίνεται στατιστική εκτίμηση των φυλογενετικών δέντρων με μεθόδους στατιστικής και αριθμητικής ανάλυσης όπου εκτιμώνται τα σφάλματα και η επαναληψιμότητα των αναλύσεων που οδήγησαν σε αυτά τα δέντρα. Δηλαδή εκτιμάται η ορθότητα αυτών.

1.2.5 Υπολογιστική Γονιδιωματική

Η Υπολογιστική Γονιδιωματική αποτελεί άλλο ένα “παρακλάδι” της Υπολογιστικής Βιολογίας που, μαζί με την γενετική, την μοριακή βιολογία και την βιοπληροφορική, συνθέτουν τον ευρύτερο κλάδο της Γονιδιωματικής. Η Γονιδιωματική είναι ο επιστημονικός κλάδος που χρησιμοποιεί τεχνικές από τις παραπάνω επιστήμες, προκειμένου να “αποκωδικοποιήσει” και να αναλύσει ολόκληρη την γενετική πληροφορία που υπάρχει μέσα σε ένα κύτταρο. Η υπολογιστική γονιδιωματική μελετά επίσης και πως και κατά ποιο βαθμό επηρεάζεται το γονιδίωμα ενός οργανισμού παρουσία ουσιών, όπως η ισοτρετινοίνη, η οποία

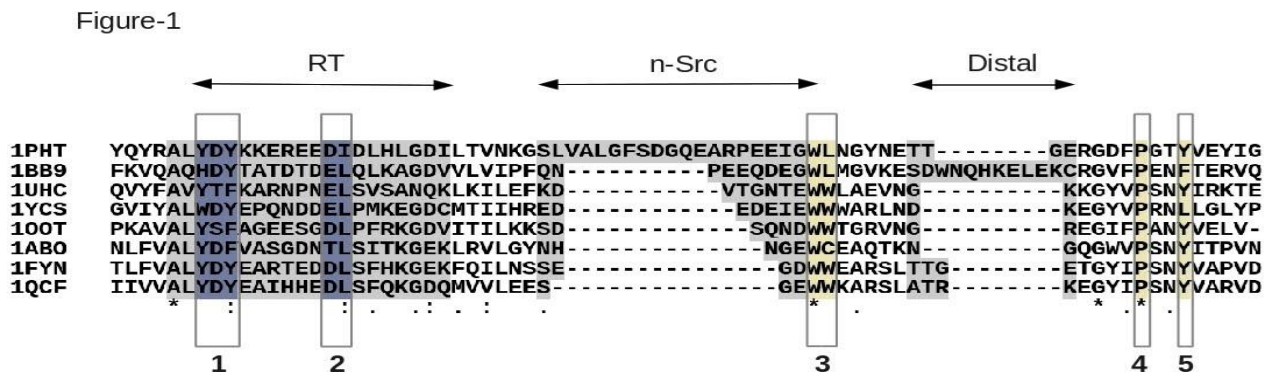
χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση ακραίων περιστατικών ακμής. (Harmon, 2010), (Nolan et al, 2020)

Ένα τμήμα αυτής, απαρτίζει η Συγκριτική Γονιδιωματική. Στηρίζεται στην βασική αρχή της φυλογενετικής ανάλυσης που προαναφέραμε και κάνοντας χρήση βασικών αλγορίθμων στοίχισης και σύγκρισης και σε συνδυασμό με την δομή του γονιδιώματος, επιτυγχάνει να εξάγει πολύ πιο λεπτομερή και ουσιώδη συμπεράσματα που δε θα μπορούσαμε να βρούμε με κάποιο απ' τα γνωστά προβλεπτικά μοντέλα. Υπάρχουν τέσσερις μεθοδολογίες που ακολουθούνται στην Σ.Γ. Η πρώτη είναι η μέθοδος αφαίρεσης γονιδίων. Σε αυτήν, στηριζόμαστε στην εύρεση κοινών ομόλογων γονιδίων. Βασική γνώση αποτελεί η αρχή της φυλογενετικής, ότι οι συγγενικοί οργανισμοί θα έχουν και περισσότερα κοινά γονίδια. Σε αυτά τα κοινά γονίδια στεκόμαστε και έχουμε την δυνατότητα να εντοπίσουμε χαρακτηριστικές λειτουργίες της ζωής και των μηχανισμών επιβίωσής των υπό μελέτη οργανισμών. Αποτυπώνουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης συνήθως σε διαγράμματα Venn. (Bagkos, 2015)



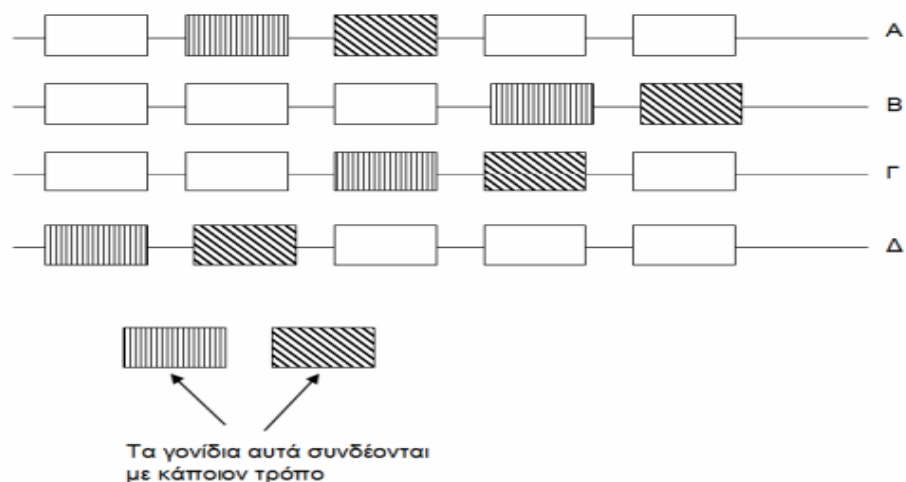
Εικόνα 2 «Παραδείγματα διαγραμμάτων Venn.» Σύγκριση στελεχών *Xanthomonas Oryzae* με EDGAR και διαφορετικά είδη *Streptococcus* σε σύγκριση με *R*. Πηγή: (Bagkos, 2015)

Η δεύτερη μέθοδος είναι αυτή της στοίχισης ολόκληρων γονιδιωμάτων. Σ' αυτή την μέθοδο, στοιχίζονται τα γονιδιώματα και εντοπίζονται οι κοινές περιοχές αυτών. Η στοίχιση γίνεται με κάποιον αλγόριθμο στοίχισης. (T coffee, χ.χ.)



Εικόνα 3 Στιγμιότυπο από την στοίχιση γονιδιωμάτων, στο πρόγραμμα T-Coffee

Η τρίτη μέθοδος, είναι η μέθοδος σύγκρισης της σειράς γονιδίων. Στην μέθοδο αυτή, εντοπίζονται γονίδια που έχουν την τάση να βρίσκονται κοντά στα περισσότερα γονιδιώματα που μελετούμε ή και σε όλα. Στηριζόμενοι στις γνώσεις μας για τα οπερόνια, αναμένουμε ότι τα γονίδια που βρίσκονται δίπλα το ένα στο άλλο, ανήκουν στο ίδιο “λειτουργικό” μονοπάτι. Αυτή η μέθοδος, μας δίνει την δυνατότητα να αναγνωριστούν λειτουργίες γονιδίων που κωδικοποιούν τελείως διαφορετικές πρωτεΐνες.



1.2.6 Υπολογιστική Νευροψυχιατρική

Η υπολογιστική νευροψυχιατρική, δημιουργεί μοντέλα του ανθρώπινου εγκεφάλου αξιοποιώντας αρχές και μεθόδους από τον χώρο της επιστήμης των υπολογιστών. Έτσι, κατασκευάζει χάρτες νευρωνικών συνδέσεων και συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των δικτύων των νευρώνων και των λειτουργιών που αυτά τα συστήματα επιτελούν. Η υπολογιστική νευροψυχιατρική, έχει συνεισφέρει στο να βρεθεί κάποια σύνδεση μεταξύ

ψυχιατρικών ασθενειών με παρεμβολές ή ζημιές στις συνδέσεις των νευρωνικών δικτύων.

1.2.7 Υπολογιστική Ογκολογία

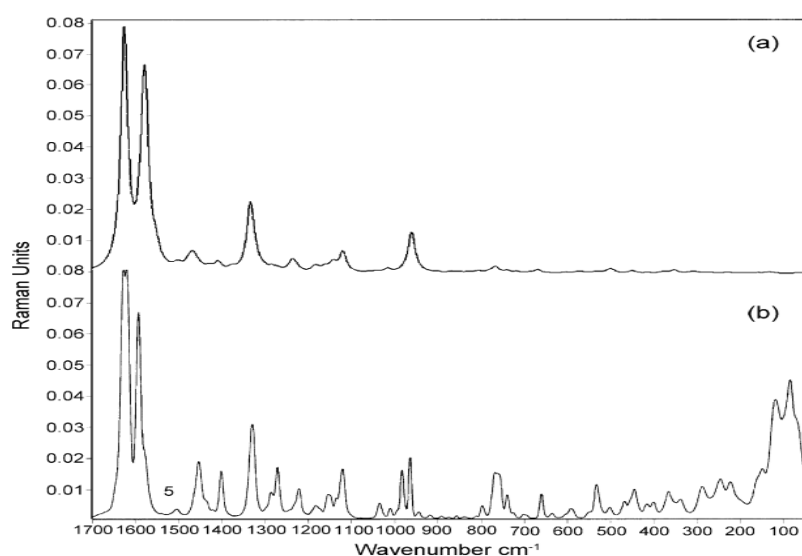
Χρησιμοποιώντας τις τεχνικές και μεθόδους της Υ.Β. και στην ογκολογία, συναντούμε την υπολογιστική ογκολογία. Γενικά, η ογκολογία ασχολείται με παρατήρηση και μελέτη καλοηθών και κακοήθων όγκων (καρκίνου). Η ογκολογία ασχολείται με τα κύτταρα και πως αυτά διαιρούνται και πολλαπλασιάζονται άναρχα ή οδηγούν στην ανάπτυξη όγκων. Με την εξέλιξη των τεχνολογιών και όλο και πιο περίπλοκων υπολογιστικών μεθόδων απ' τον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών, βρισκόμαστε σε θέση, να χαρακτηρίσουμε αλλά και να κατανοήσουμε αυτές τις πολυκυτταρικές μάζες και να μπορούμε να προτείνουμε αποτελεσματικότερες και ακριβέστερες θεραπείες και συνδυασμούς αυτών, σε σχέση με το αν χρησιμοποιούσαμε τεχνικές και μεθόδους του προηγούμενου αιώνα. Ένας τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό λόγω των μοριακών προσομοιώσεων, είναι διότι με την χρήση του υπολογιστή, μας δίνεται η δυνατότητα να πραγματοποιήσουμε περίπλοκους υπολογισμούς φαρμακοκινητικής και φαρμακοδυναμικής (πως αλληλεπιδρούν οι φαρμακευτικές ουσίες σε έναν οργανισμό αλλά και μεταξύ τους) και να προτείνουμε θεραπείες που είναι λιγότερο επιβλαβείς για τον ασθενή.

1.2.8 Υπολογιστική Φαρμακολογία

Η Υ.Β. έχει βοηθήσει στην ανάπτυξη της φαρμακολογίας, λόγω της ανάπτυξης του υλικολογισμικού των υπολογιστών, δίνοντας την δυνατότητα για πιο αποτελεσματικές και οικονομικότερες μεθόδους σχεδίασης και ελέγχου φαρμακευτικών ουσιών και φαρμάκων γενικότερα, δανείζοντας τεχνικές από τον υποκλάδο της υπολογιστικής γονιδιοματικής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ανάλυσης του γονιδιώματος και βρίσκοντας πρωτεΐνες-στόχους χρησιμοποιώντας μοντέλα πρόβλεψης (κυρίως με την βοήθεια Γ.Α.).

Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την χρήση υπολογιστικών μοντέλων από τον χώρο της κβαντικής χημείας και της υπολογιστικής φυσικής (μοριακή μηχανική) δίνουν την δυνατότητα εύρεσης πιο αποτελεσματικών και πιο οικονομικών φαρμακευτικών ουσιών. Με τις παραπάνω, μπορούμε να μελετήσουμε τις οπτικές, δομικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες, καθώς επίσης και να προσομοιώσουμε χημικές αντιδράσεις των ουσιών που μας ενδιαφέρουν. Τέλος, μπορούμε να πάρουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας και να τυπώσουμε τα φάσματα απορρόφησης, φάσματα IR και NMR και μια πληθώρα φασμάτων, όπως θα κάναμε μέσα σε ένα εργαστήριο. (Hildegardo et al, 2020) (John et al, 2011) (C. James et al, 2008)

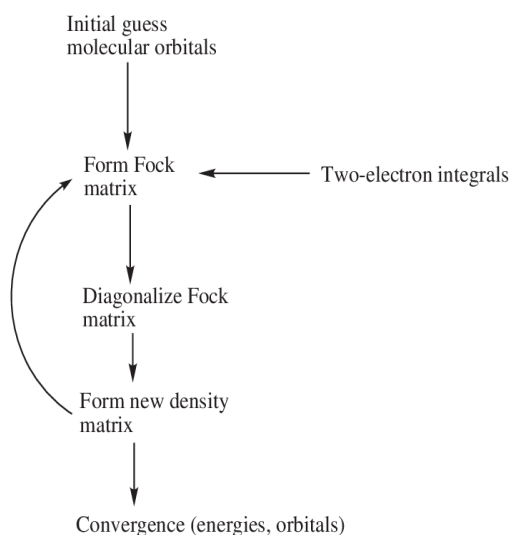
Οι υπολογισμοί αυτοί, που έχουν στόχο να υπολογίσουν την δομή βέλτιστης



Εικόνα 4 φασματα Raman (a) και FT Raman της combrestatin A-4.

ενεργειακής σταθερότητας, δηλαδή αυτήν που η ολική ενέργεια σύνδεσης (Binding Energy) είναι η ελάχιστη δυνατή, βασίζονται στην επίλυση της εξίσωσης του Schrodinger με την προσεγγιστική τεχνική της μεθόδου του αυτοσυνεπούς πεδίου (Self-Consistent Field)

Η μέθοδος αυτοσυνεπούς πεδίου πραγματοποιείται σε 3 στάδια. Αρχικά επιλύεται η εξίσωση του Schrodinger για κάθε άτομο του μορίου που μελετούμε, χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι διηλεκτρονικές αλληλεπιδράσεις. Στη συνέχεια, εισάγεται σε βήματα η αλληλεπίδραση κάθε ηλεκτρονίου και υπολογίζονται οι νέες τιμές των κυματοσυναρτήσεων. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου η διαφορά στα αποτελέσματα των υπολογισμών είναι αμελητέα και τότε η διαδικασία σταματά. Αυτές οι τιμές των κυματοσυναρτήσεων είναι οι τελικές λύσεις και είναι αυτοσυνεπείς. (Ntie-Kang, 2007)



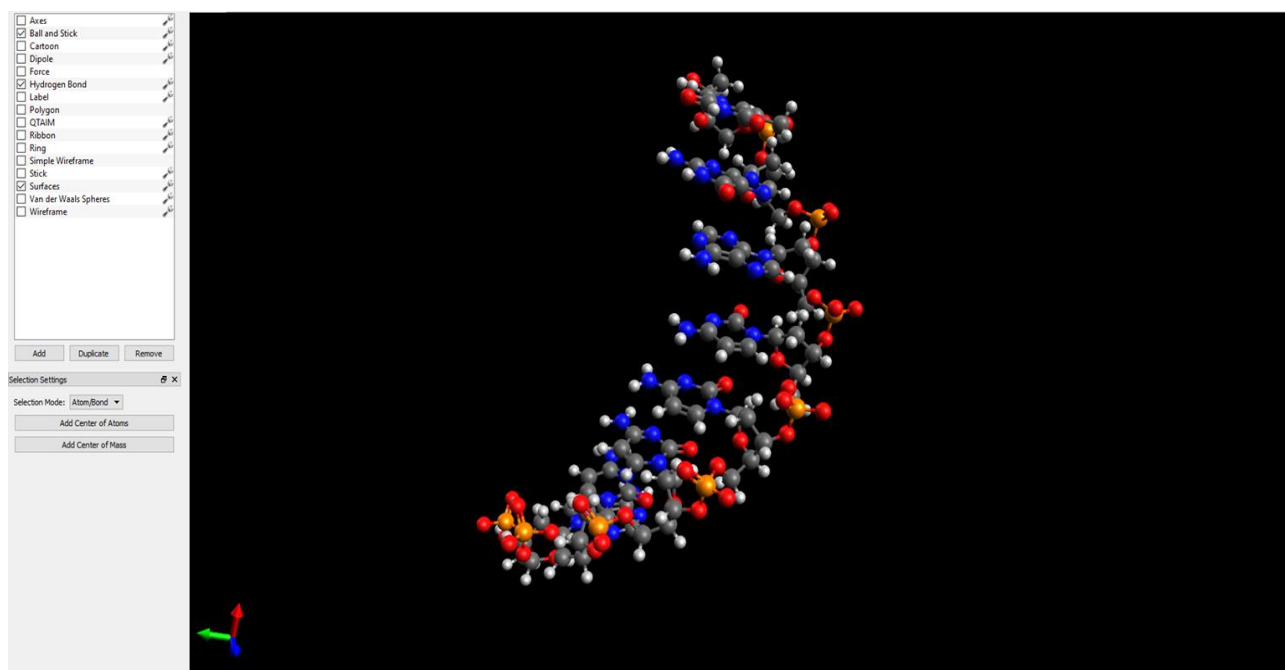
Εικόνα 5 Διάγραμμα του αλγορίθμου του αυτοσυνεπούς πεδίου. Πηγή: (Nie-Kang, 2007)

1.3 Λογισμικό

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένα δημοφιλή πακέτα λογισμικού και βιβλιοθήκες που χρησιμοποιούνται για προσομοιώσεις και υπολογισμούς στον τομέα της Υπολογιστικής Βιολογίας.

1. Avogadro

Το Avogadro είναι από τα πιο δημοφιλή προγράμματα μοντελοποίησης μοριακών ενώσεων και αυτό οφείλεται στον εύκολο χειρισμό του από τον χρήστη. Η διαδικασία σχεδιασμού είναι απλή και γίνεται σε μερικά πολύ απλά βήματα. Αρχικά, επιλέγουμε άτομα από τον περιοδικό πίνακα και σχεδιάζουμε τις ενώσεις που μας ενδιαφέρουν, ή μπορούμε να φορτώσουμε τα δεδομένα από κάποιο αρχείο (.txt ή .dat) όπου έχουμε γράψει τις συντεταγμένες των ατόμων της εκάστοτε ένωσης ή και να διαλέξουμε από μια λίστα έτοιμων προτύπων. Στην συνέχεια, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε κάποιους υπολογιστικά απλούς υπολογισμούς (πχ. βελτιστοποίησης δομής) και να “καθαρίσουμε” το μοντέλο μας από τυχόν “ατέλειες” που προκύπτουν συχνά κατά τον σχεδιασμό, να ελέγξουμε την πολλαπλότητα (Multiplicity) της ένωσης μας κ.α. Αυτό το στάδιο μας βοηθά να ετοιμάσουμε τα μοντέλα μας για τους πιο απαιτητικούς υπολογισμούς που θα κάνουμε, εξοικονομώντας χρόνο.



Εικόνα 6 Μοντέλο μιας μονόκλωνης αλυσίδας DNA. Κομμάτι απ' το αρχείο του μοντέλου της μονόκλωνης αλυσίδας. Στην πρώτη στήλη αναγράφεται η ονομασία του ατόμου και στις υπόλοιπες τρεις, οι συντεταγμένες x,y,z.

2. Orca

Το Orca, είναι ένα δωρεάν “πακέτο” προγραμμάτων που ειδικεύεται στους υπολογισμούς κβαντικής χημείας της ab initio κατηγορίας και χρησιμοποιείται για την μελέτη των οπτικών και ηλεκτρονικών ιδιοτήτων των μορίων. Το Orca “τρέχει” μέσω του “terminal” του λειτουργικού συστήματος του υπολογιστή ή κάποιου προγράμματος (Gabedit) και οι εντολές γράφονται σε ένα αρχείο κειμένου που έχει την ονομασία “.inp” και εκεί μέσα, μπορούμε να έχουμε το αρχείο των συντεταγμένων της ένωσης που μελετούμε, ή να το “καλούμε” με την χρήση εντολής. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών γράφονται στο αρχείο που έχει την κατάληξη “.out”, και από προεπιλογή, βρίσκεται στον ίδιο φάκελο με το αρχείο εντολών. Μετά το πέρας κάποιου επιτυχημένου υπολογισμού, το αρχείο “.out” θα εμφανίσει το μήνυμα “***ORCA TERMINATED NORMALLY*** ”

```

*****
*   O   R   C   A   *
*****

--- An Ab Initio, DFT and Semiempirical electronic structure package ---

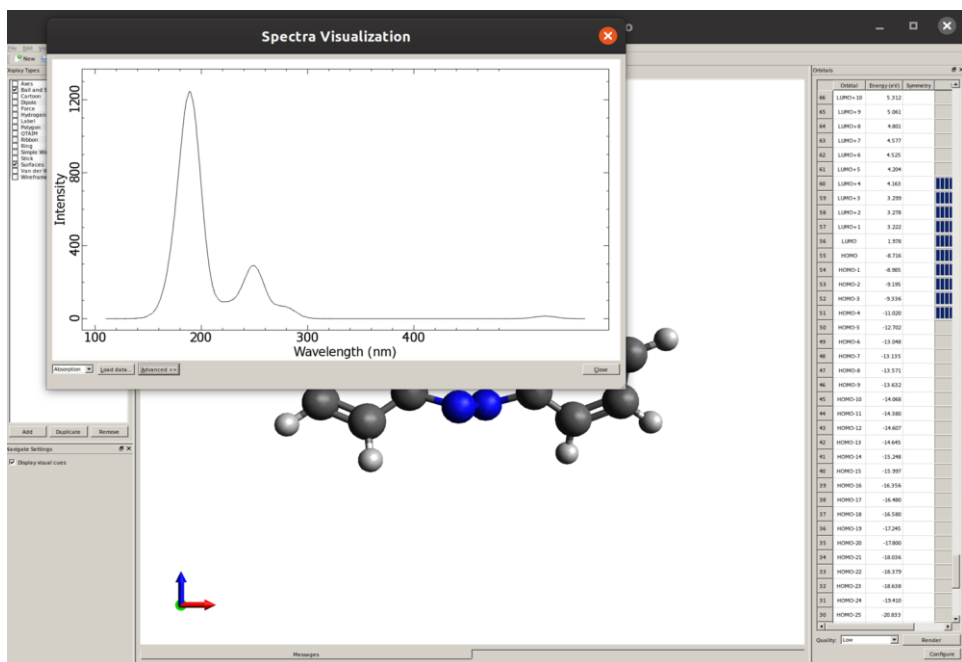
#####
#                                     #
#   Department of molecular theory and spectroscopy   #
#   Directorship: Frank Neese                         #
#   Max Planck Institute for Chemical Energy Conversion #
#   D-45470 Muelheim/Ruhr                             #
#   Germany                                             #
#   All rights reserved                               #
#   -***-                                              #
#####

Program Version 3.0.3 - RELEASE -

```

Εικόνα 7 Στιγμιότυπο της έκδοσης 3.0.3

Όπως προαναφέρθηκε μπορούμε να μελετήσουμε τις οπτικές, δομικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες διαφόρων ενώσεων, αλλά δεν μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για να παρουσιάσουμε τα ευρήματά μας άμεσα (πχ. να εμφανίσουμε την 3D μορφή του ενεργειακά βελτιστοποιημένου δείγματος μας με το Avogadro), διότι δεν περιλαμβάνει κάποιο πακέτο γραφικών. Η επικοινωνία του όμως με βιβλιοθήκες γραφικών επιτυγχάνεται με την δημιουργία αρχείων τύπου .xyz ή .molden, τα οποία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σε προγράμματα τρισδιάστατης απεικόνισης.

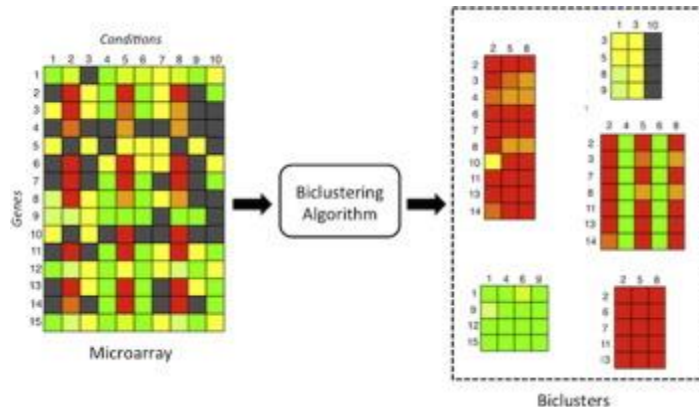


Εικόνα 8 Φάσμα Υπεριώδους-Ορατού του αζωβενζολίου, έπειτα από υπολογισμό οπτικών και ηλεκτρονικών ιδιοτήτων στο Orca, και απεικόνισή του, στο Avogadro. Πηγή: (UCR)

3. Bioconductor

Είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα, για την ανάλυση γονιδιωματικών δεδομένων από

βιβλιοθήκες ερευνητικών ιδρυμάτων αλλά και δεδομένων που καταγράφηκαν κατά την διάρκεια εργαστηριακών πειραμάτων (“wet lab experiments”). Βασίζεται κυρίως στην γλώσσα προγραμματισμού “R”. Αυτό το καθιστά ένα ισχυρό εργαλείο στατιστικής ανάλυσης γονιδίων (η μέθοδος Biclust), και γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 9 Ανάλυση Biclust

4. BLAST (basic local alignment search tool)

Είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται στην υπολογιστική γονιδιωματική. Συγκρίνει το γονιδίωμα που του δίνει ο χρήστης και το συγκρίνει με άλλα μέσα σε μια βάση δεδομένων, πάντα με κάποια όρια σφαλμάτων. Ο χρήστης δίνει την γονιδιωματική ακολουθία (Query) και (προαιρετικά) ρυθμίζει τις παραμέτρους που τον ενδιαφέρουν. Στη συνέχεια, με το πάτημα ενός κουμπιού, γίνεται η στοίχιση των γονιδιωμάτων και εμφανίζονται τα γονίδια που ταυτίζονται με αυτά του γονιδιώματος που δόθηκε απ' τον χρήστη. (SGD)

5. Biopython

Είναι μια βιβλιοθήκη της γλώσσας προγραμματισμού “Python”, που χρησιμοποιεί τις συμβολοσειρές (strings), για να εκφράσει τις γονιδιακές αλληλουχίες (όπως αναφέρθηκε στην ενότητα της υπολογιστικής γονιδιωματικής), και κατά συνέπεια χρησιμοποιεί όλες τις πράξεις των συμβολοσειρών όπως η περικοπή, διχοτόμηση, προσθήκη σε άλλη ακολουθία κλπ.

ΕΝΟΤΗΤΑ 2 – Γνωσιακή Νευροεπιστήμη

2.1 Εισαγωγή

Η γνωσιακή νευροεπιστήμη αποτελεί έναν ογκώδη και σπουδαίο κλάδο της νευροεπιστήμης και της μελέτης του νου από νευρολογική και βιολογική σκοπιά. Το ενδιαφέρον για την λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου συναντάται χιλιάδες χρόνια πριν απασχολώντας φιλοσόφους και διανοούμενους που προσπαθούσαν να παρατηρήσουν τον κόσμο και τους εαυτούς τους. Το 1918 ο Αμερικάνος ψυχολόγος και φιλόσοφος William James εξέθεσε την άποψή του για το μεγαλείο του νου, λέγοντας πως « Η φύση με τα απερίγραπτα σχέδιά της κατάφερε να μας δημιουργήσει από τον πηλό και την φλόγα, μυαλό και νου, τα οποία συνδέονται αναμφίβολα μεταξύ τους και το ένα καθορίζει το άλλο, με λειτουργίες που κανείς άνθρωπος δεν θα κατανοήσει», σε ελεύθερη μετάφραση. Η μελέτη του στοιχείου αυτού, του τρόπου παραγωγής σκέψεων, συμπεριφορών κ.λπ. από τον εγκεφαλο, αναφέρεται ως γνωστική νευροεπιστήμη. Φαίνεται πως το κεντρικό νευρικό σύστημα ορίζει ένα διεπιστημονικό πεδίο που συνδυάζει αυτές τις δύο επιστήμες, την νευροεπιστήμη και την γνωσιακή ψυχολογία. Η γνωσιακή ψυχολογία αποτελεί έναν κλάδο της ψυχολογίας που διερευνά την ανθρώπινη γνώση – τις εσωτερικές νοητικές διεργασίες, μάθηση και μνήμη, γνωστικός έλεγχος, αντίληψη, προσοχή, γλώσσα, κινητικό έλεγχο, λήψη αποφάσεων και κοινωνική γνώση –. Το ΚΝΣ μελετάται από την σκοπιά του πώς ο ανθρώπινος εγκεφαλος υποστηρίζει αυτές τις διαδικασίες, μέσω των νευρικών μηχανισμών. Η γνωστική ψυχολογία εξετάζει περισσότερο ερωτήματα και μοτίβα του γιατί συμβαίνει κάτι, ενώ η μελέτη του ΚΝΣ εστιάζει στο με ποιες λειτουργίες και μηχανισμούς του εγκεφάλου, καθώς και ποιες περιοχές ενεργοποιούνται, συμβάλλουν στα φαινόμενα που εξετάζει η γνωστική ψυχολογία. Οι τρόποι και τα εργαλεία διερεύνησης των θεματικών αυτών είναι πολλοί και περίπλοκοι. Μεταξύ άλλων, οι επιστήμονες αυτών των πεδίων εκτελούν τεστ συμπεριφοράς με ποικίλους τρόπους σε ανθρώπους και ζώα, εντός και εκτός εργαστηρίου, ενώ επίσης έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες δομικής απεικόνισης του εγκεφάλου. Τέλος, σημαντική προοπτική εμφανίζει η ανάπτυξη προγραμμάτων και η υπολογιστική μοντελοποίηση , που αποτελεί κομμάτι συζήτησης σε άλλη ενότητα. (Eich& Smith, 2012)

Οι επιστήμονες λοιπόν που εξετάζουν την θεματική αυτή κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Οι πειραματικοί νευροψυχίατροι ασχολούνται κυρίως μέσω της εργασίας τους, με την αφετηρία, δηλαδή τις νευρικές βάσεις την γνωσιακής, ενώ η μέθοδός τους είναι η διεξαγωγή πειραμάτων και μελέτες που συγκρίνουν άτομα με διακριτές διαφοροποιήσεις όπως παράδειγμα εγκεφαλική βλάβη. Οι ερευνητές αυτοί διαθέτουν μια ποικιλία από τεχνικές ώστε

να διαχωρίσουν περίπλοκες λειτουργίες του εγκεφάλου και έπειτα να απομονώσουν την αντίστοιχη περιοχή του εγκεφάλου που συνεισφέρει σε αυτές τις λειτουργίες. Οι κλινικοί νευροψυχίατροι εφαρμόζουν τις πρακτικές τους σε δομές υγείας διεξάγοντας διαγνώσεις σε συγκεκριμένους ασθενείς που εμπίπτουν στην ειδικότητά τους, οργανώνοντας προγράμματα αποκατάστασης και επανένταξης και προσδιορίζουν κατά πόσο διάφοροι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάσουν τις εγκεφαλικές δυσλειτουργίες των ασθενών. (Banich et al, 2018)

Με σκοπό να γίνουν κατανοητά όλα τα κύρια και επιμέρους αντικείμενα της παρούσα αναφοράς, είναι σκόπιμο να αναλυθεί το ΝΣ συνοπτικά καθώς και άλλες βιολογικές και ανατομικές πληροφορίες, ώστε να ακολουθήσει μια πιο αναλυτική περιγραφή της γνωσιακής νευροεπιστήμης.

2.2.1 Νευρικό σύστημα

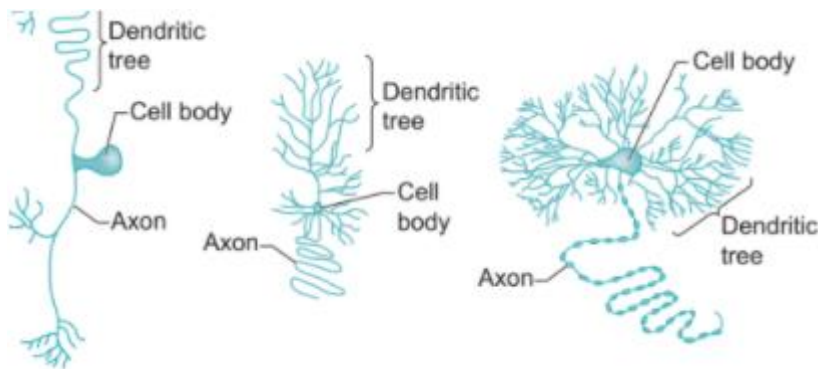
Το νευρικό σύστημα είναι υπεύθυνο για την ρύθμιση και λειτουργία των οργάνων του σώματος, ενώ αποτελεί την έδρα των ψυχικών λειτουργιών, καθώς επίσης αποτελεί και την συνολική αντίληψη του περιβάλλοντος, καθώς είναι ο κύριος παράγοντας της δημιουργίας των πέντε αισθήσεων του ανθρώπου. Διακρίνεται σε δύο κατηγορίες,

- Το κεντρικό νευρικό σύστημα, αποτελούμενο από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό, και
- Το περιφερικό νευρικό σύστημα, αποτελούμενο από τα εγκεφαλικά και νωτιαία νεύρα και τα νευρικά γάγγλια.

Η λειτουργία του ΚΝΣ εστιάζει στην συσχέτιση και ολοκλήρωση των πληροφοριών που λαμβάνονται, ενώ το ΠΝΣ – είναι εξαπλωμένο παντού – έχει τον ρόλο της μεταφοράς των πληροφοριών από και προς το ΚΝΣ. Το ΠΜΣ διακρίνεται από δύο υποκατηγορίες, το ζωικό (απαραίτητη η συνειδητή συμμετοχή του νου) και το αυτόνομο (λειτουργώντας ακούσια) το οποίο έχει ως υποκατηγορίες το συμπαθητικό και παρασυμπαθητικό σύστημα. (Τζόνσον, 2015), (Τζόνσον, 2012)

Τα κύτταρα που εξυπηρετούν τις λειτουργίες του νευρικού συστήματος είναι οι νευρώνες και τα νευρογλοιακά κύτταρα. Οι νευρώνες μεταφέρουν πληροφορίες μέσω χημικών και ηλεκτρικών σημάτων, ενώ τα γλοία διεκπεραιώνουν υποστηρικτικές προς τους νευρώνες λειτουργίες και αριθμητικά υπερτερούν αυτών κατά αναλογία 10 προς 1. Η μορφή των

νευρώνων αποτελείται από τρία κύρια μέρη (δενδριτικό μέρος, κορμός και άξονας). Τα νευρικά κύτταρα έχουν τα ίδια βασικά μέρη, έχουν διαφορετικά μεγέθη και διαχωρίζονται με βάση τις λειτουργίες που επιτελούν. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα. Οι αισθητηριακοί νευρώνες συλλέγουν πληροφορίες και τις μεταφέρουν στους ενδονευρώνες, οι οποίοι αποτελούν τον συνεκτικό κρίκο μεταξύ των αισθητηριακών και των νευρώνων κίνησης - οι οποίοι συλλέγουν πληροφορίες από πολλές πηγές – και έτσι οι τελευταίοι μεταβιβάζουν την πληροφορία με αποτέλεσμα την κίνηση των μυών.



Εικόνα 10 Παραδείγματα ορισμένων νευρικών κυττάρων -όχι σε πραγματική κλίμακα μεγεθών- . Αισθητηριακοί νευρώνες, ενδονευρώνες και κινητικοί. Πηγή: (Banich et al, 2018)

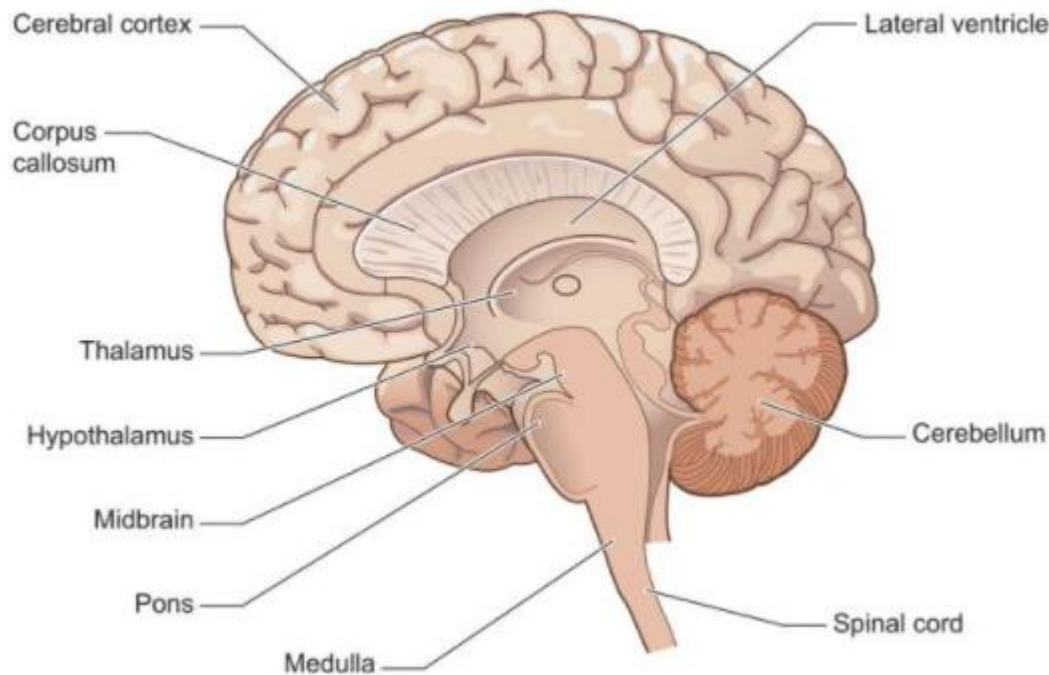
Τα γλοία (glia) επηρεάζουν τα νευρικά κύτταρα στην μεταξύ τους επικοινωνία και την φυσική τους σύνδεση με χημικούς τρόπους. Ουσιαστικά, εκτελούν αμιγώς υποστηρικτικούς σκοπούς. (Banich et al, 2018)

Το ΚΝΣ περιέχει κάποιες βασικές υποκατηγορίες. Αυτές είναι

- Η σπονδυλική στήλη (spinal cord). Οι αισθητηριακοί νευρώνες στέλνουν πληροφορίες προς τον εγκέφαλο καθώς και αποτελεί κέντρο συλλογής εντολών από αυτόν, που θα σταλούν για την πραγματοποίηση κάποιας κίνησης. Ουσιαστικά αποτελεί το κέντρο εισόδου και εξόδου αισθητηριακών και κινητικών νευρώνων του σώματος. Σε περίπτωση ζημιάς στην σπονδυλική στήλη, ενδέχεται να επιφέρει στο άτομο απώλεια αίσθησης και θα είναι αδύνατον να πραγματοποιηθεί κίνηση στα σημεία που συνδέονται με την συγκεκριμένη περιοχή.
- Μυελός (medulla). Αποτελεί το κέντρο ελέγχου των βασικών λειτουργιών περιέχοντας πολλά από τα κύτταρα των κρανιακών νεύρων.

- Παρεγκεφαλίτιδα (cerebellum). Είναι μια περιοχή σημαντική για την ρύθμιση και καθοδήγηση της κινητικής διαδικασίας.
- Γέφυρα (pons). Λειτουργεί συνεκτικά ως προς την παρεγκεφαλίτιδα και τον υπόλοιπο εγκέφαλο καθώς επίσης μεταξύ των περισσότερων κρανιακών νεύρων με αυτόν. Επιπλέον, αποτελεί το σημείο κίνησης των ματιών καθώς επίσης και την σύγκριση των ήχων που φτάνουν στο κάθε αυτί.
- Μεσοεγκέφαλος (midbrain). Περιέχει κέντρα απόκρισης σε ακουστικά και οπτικά ερεθίσματα.
- Υποθάλαμος (hypothalamus). Ο κυριότερος ρόλος του υποθαλάμου είναι συντονισμός και έλεγχος των συμπεριφορών που βοηθούν να εκπληρώσει το σώμα τις ανάγκες του προκειμένου να διατηρηθεί ισορροπημένο. Ουσιαστικά «ενημερώνει» τον εγκέφαλο για βασικές ανάγκες, όπως πείνα κ.λπ. προκειμένου να κινηθεί προς την ικανοποίησή τους. (Banich et al, 2018)
- Θάλαμος (thalamus). Αποτελεί συναπτικό κέντρο και στο εσωτερικό του συναντάται μεγάλος αριθμός πυρήνων που συνδέονται με τον εγκεφαλικό φλοιό. Πρόκειται για το κύριο σημείο εισόδου για διαφόρων αισθητικών ερεθισμάτων. Επίσης, συμμετέχει στην ρύθμιση του ύπνου, συνείδησης κ.α.. (Ανωγειανάκης, 2016)
- Πλευρικές κοιλίες (lateral ventricles). Κάθε ημισφαίριο του εγκεφάλου διαθέτει μια πλευρική κοιλία. Στο σημείο αυτό γίνεται η παραγωγή του εγκεφαλονωτιαίου υγρού το οποίο επιτελεί ιδιαίτερα σημαντικές λειτουργίες, όπως το να διατηρεί «πλωτό» τον εγκέφαλο μειώνοντας το άγχος που θα προκαλούσε η κίνηση και προστατεύοντάς τον να μην συνθλιβεί από την μάζα του. (The Human Memory, 2021)
- Μεσολόβιο (corpus callosum). Αποτελείται κυρίως από λευκή ουσία και βοηθά στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των δύο ημισφαιρίων.
- Εγκεφαλικός φλοιός (cerebral cortex). Πρόκειται για το περισσότερο ανεπτυγμένο σημείο του εγκεφάλου και είναι υπεύθυνο για μια σειρά λειτουργιών, όπως κατανόηση και δόμηση γλώσσας, ενώ αποτελεί το σημείο επεξεργασίας των περισσότερων λειτουργιών, αισθητικών και κινητικών. Επίσης, μεταξύ άλλων θεωρείται το σημείο που καθορίζεται η προσωπικότητα, η ευφυΐα και η οργανωτική ικανότητα. (Bailey, 2020)

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει λεπτομερώς τις βασικές υποδιαιρέσεις που αναλύθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 11 Οι κύριες περιοχές του εγκεφάλου με βάση το ΚΝΣ. Πηγή : (Banich et al, 2018)

2.2.2 Νευροδιαβιβαστές

Αποτελούν βιοχημικές ενώσεις οι οποίες απελευθερώνονται από τους νευρώνες επηρεάζοντας κάποιο όργανο. Διακρίνονται , ανάλογα με την δράση τους, σε διεγερτικούς (ακετυλοχολίνη, (νορ)επινεφρίνη κ.α.) και ανασταλτικούς (γλυκίνη, GABA) προκαλώντας αποπόλωση ή υπερπόλωση αντίστοιχα. Οι μικτοί νευροδιαβιβαστές είναι η ντοπαμίνη και η σεροτονίνη. (Δάλλα, 2018) Τα τέσσερα βασικότερα συστήματα νευροδιαβιβαστών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα λεπτομερώς, ο οποίος παρουσιάζει ορισμένα βιολογικά χαρακτηριστικά, αλλά και τις ανθρώπινες λειτουργίες που συνδέονται σε συμπεριφορική βάση.

Neurotransmitter System	Transmitter	Site of Origin	Projection Sites	Main Receptor Types	Main Behavioral Effects
Cholinergic	Acetylcholine	Basal forebrain	Diffuse cortical regions	Muscarinic Nicotinic	Overall cortical excitability, attention, memory
Serotonergic	Serotonin			At least nine different receptors	Sleep, mood, sexual behavior, eating, pain, memory, arousal
<i>Subsystems</i>		Dorsal raphe nucleus	Cortex Thalamus		
		Medial raphe nucleus	Limbic system		
Noradrenergic	Noradrenaline (norepinephrine)			$\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$	
<i>Subsystems</i>		Ventrolateral tegmental area	Hypothalamus		Feeding, sexual behavior
		Locus coeruleus	Thalamus Hypothalamus Cortex		Attention, sleep, working memory
Dopaminergic	Dopamine			D ₁ family (D ₁ & D ₅) D ₂ family (D ₂ , D ₃ , & D ₄)	Working memory, novelty seeking, attention, psychotic symptomatology
<i>Nigrostriatal subsystem</i>		Substantia nigra	Dorsal striatum		Motor activity
<i>Mesolimbic subsystem</i>		Ventral tegmental area	Limbic regions Prefrontal cortex		Reward
<i>Mesocortical subsystem</i>		Ventral tegmental area	Prefrontal cortex		Working memory, planning

Εικόνα 12 Τα τέσσερα βασικότερα συστήματα νευροδιαβιβαστών. Πηγή: (Banich et al, 2018)

2.3 Πεδία εστίασης

Η γνωστική νευροεπιστήμη, ως το πεδίο που εστιάζει στην μελέτη της επεξεργασίας και των παραμέτρων του γνωσιακού με βάση την βιολογία, αποτελεί έναν πραγματικά πελώριο τομέα εξειδίκευσης με διάφορες υποκατηγορίες. Πλέον, όλο και περισσότερες μελέτες λαμβάνουν χώρα μεταξύ των επιστημονικών κοινοτήτων. Ιδιαίτερο ρόλο στην εξέλιξη έχει η μελέτη του φλοιού (cerebral cortex) έπειτα από την χρήση εξελιγμένων τεχνολογιών απεικόνισης και μη επεμβατικών μεθόδων σε ανθρώπινα δείγματα. Η άμεση παρατήρηση των γνωσιακών λειτουργιών σε ζωντανά «δείγματα» σε διάφορα στάδια είναι ουσιώδης. Ωστόσο, η σημαντικότερη εξέλιξη του κλάδου οφείλεται στην μελέτη τρωκτικών. Οι σημαντικότερες πτυχές του κλάδου παρουσιάζονται σε αυτή την ενότητα.

2.3.1 Πλαστικότητα (plasticity)

Αφορά την ιδιότητα του εγκεφάλου να αλλάζει και να διαμορφώνεται κατά την διάρκεια διαδικασιών μάθησης και μνήμης και ως αντίδραση σε εξωτερικά ερεθίσματα. Επισημαίνεται ο ρόλος της προσοχής στην νευροπλαστικότητα αλλά και στην εύπλαστη φύση της προσοχής καθαυτής, ενώ επίσης τα ευμετάβλητα συστήματα από περιβαλλοντικές εισροές είναι πιο ενισχυμένα και πιο ευάλωτα εξίσου. Άλλη μια θεματική αποτελεί πως διαφορετικές λειτουργίες παρουσιάζουν διαφορετικές οπτικές και περιόδους μέγιστης πλαστικότητας, ενώ κάποιες άλλες παραμένουν ως έχουν κατά την διάρκεια της ζωής. Επιπλέον, αυτή η ικανότητα εκδηλώνεται μέσα από μοριακούς μηχανισμούς που μετουσιώνουν την δεδομένη ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου σε αλλαγές στις συνάψεις, σχήματα και συνδέσεις του υπάρχοντος δικτύου. Η μέθοδος συλλογής πληροφοριών αποτελεί η απεικόνιση, οι τοπογραφικές προβολές και χάρτες ώστε να αναλυθούν οι ουσιώδεις πληροφορίες που παρέχονται από τον εγκέφαλο. (Gazzaniga, 2009)

2.3.2 Προσοχή (attention)

Η προσοχή παραπέμπει στην διαδικασία εστίασης σε μια νοητική διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, εστιάζοντας σε μια πηγή αισθητήρων με τον αποκλεισμό των άλλων, έχουμε επιλεκτική προσοχή. Ένα παράδειγμα αποτελεί η δοκιμασία οπτικής αναζήτησης όπου ένα άτομο καλείται να διακρίνει οπτικά έναν στόχο ενώ καταστέλλονται οι παρεμβολές από άλλα στοιχεία που γίνονται αντιληπτά ακόμη και σε ίδια ποσότητα με τον στόχο. Παρά το γεγονός ότι η επιλεκτική προσοχή διαδραματίζει βασικό ρόλο σε διάφορες αισθητηριακές μορφές, το κυριότερο σημείο σπουδαιότητας αποτελεί το οπτικό σύστημα και αυτό διότι από εκεί προσφέρεται σταθερή ροή πληροφοριών, από θέμα μελέτης, για την θεματική της εφήμερης προσοχής. Σε μια διαδικασία στοιχειοθέτησης της εν λόγω θεματικής, φαίνεται πως ο κύριος διαχωρισμός συμβαίνει μεταξύ της πραγματοποίησης της προσοχής και του ελέγχου της. Οι διαδικασίες ελέγχου αφορούν την επεξεργασία γενικών πληροφοριών και την μετατροπή τους σε αποδεκτά σύνολα χαρακτηριστικών, κατευθύνοντας την προσοχή (παράδειγμα σχήματα, χρώματα και τοποθεσίες). Έπειτα από την εύρεση αυτών των δυνητικά σχετικών πληροφοριών, η διαδικασία υλοποίησης διασφαλίζει την περεταίρω επεξεργασία. (Gazzaniga, 2009) Η προσοχή φαίνεται να αποτελεί μια περιορισμένη ικανότητα. Η αντίληψη επίσης είναι εξίσου περιορισμένη χωρίς προσοχή. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει πως ένα άτομο είναι αδύνατον να αποκτήσει μια εμπλουτισμένη από πολλά στοιχεία αντίληψη εάν εναλλάσσει ταχέως την

προσοχή του, διότι η οπτική μνήμη φαίνεται να έχει χωρητικότητα έως και τέσσερα αντικείμενα. (Rosenholtz, 2020)

2.3.3 Αίσθηση και αντίληψη (sensation and perception)

Στην πορεία κατανόησης των φυσικών πληροφοριών και με ποιον τρόπο αυτές συλλαμβάνονται από το νευρικό σύστημα, κατά τον 20τό αιώνα σημειώθηκε πρόοδος μέσω καθοριστικών πειραμάτων σχετικά με την περιφερειακή κωδικοποίηση. Τα περιφερειακά σήματα πρέπει να ερμηνευθούν διότι έχουν βιολογική σημασία. (Gazzaniga, 2009) Η αντίληψη ουσιαστικά αποτελεί την λειτουργία της οργάνωσης, αποκωδικοποίησης και ερμηνείας των ερεθισμάτων που λαμβάνουμε μέσω αισθητηριακών μέσων, με σκοπό την παρουσίαση και κατανόηση των πληροφοριών του περιβάλλοντός μας. Αυτές οι πληροφορίες συμβαίνουν μέσω φυσικής ή χημικής δραστηριότητας που ενεργοποιεί κάποια/ες από τις αισθήσεις ενός ατόμου μέσω σημάτων του νευρικού συστήματος. (Schacter, 2011) Τα πειράματα που διεξάγονται περί διερεύνησης της οπτικής αντίληψης υποδηλώνουν πως είναι ιδιαίτερα φτωχή. Στην προσπάθεια περεταίρω ανάλυσης, συγκροτούνται δύο υποθέσεις. Αρχικά, η περιφερειακή όραση κατά την κωδικοποίηση διατηρεί αρκετά στοιχεία, ενώ χάνει κάποιες πληροφορίες. Δεύτερον, ορισμένες διεργασίες της αντίληψης ορίων μνήμης είναι δύσκολες, με αποτέλεσμα να υπάρχουν όρια στην πολυπλοκότητα των αποφάσεων. Δύο επίσης υποθέσεις αναδύονται ως συνέχεια αυτών των θεωρήσεων. Η οπτική αντίληψη, είτε είναι συνειδητή είτε όχι, προκύπτει από οπτικές διεργασίες και πως αυτές αντιμετωπίζουν εξίσου ορισμένα όρια. Συνολικά, η περιφερειακή κωδικοποίηση και η πολυπλοκότητα ερμηνεύουν αρκετά από τα φαινόμενα όπως τις αποτυχίες της όρασης αλλά και της υποκειμενικά πλούσιας εντύπωσης του οπτικού κόσμου. (Rosenholtz, 2020) Σε μια βιβλιογραφική ανασκόπηση της θεματικής αυτής, κανείς μπορεί να συναντήσει μελέτες που αφορούν και τις υπόλοιπες αισθήσεις πέραν του οπτικού φάσματος.

2.3.4 Συστήματα κίνησης (motor systems)

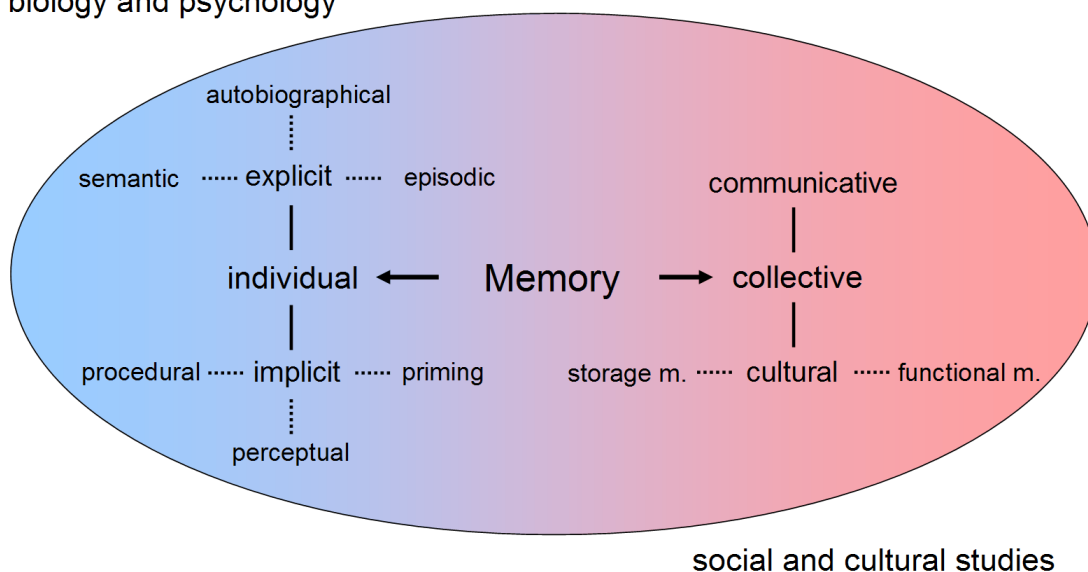
Οι μελέτες σχετικές με την κίνηση περιέχουν την ολιστική διερεύνηση και κατανόηση διαφόρων παραγόντων που συντελούν για την πραγματοποίηση της κίνησης. Οι βασικοί άξονες που διέπουν αυτή την θεματική είναι οι ανατομικοί, οι λειτουργικοί και οι υπολογιστικοί παράγοντες προκειμένου το νευρικό σύστημα να πραγματοποιήσει μια τόσο στοχευμένη πράξη. Στην πορεία αυτής της διερεύνησης συναντώνται ορισμένα εμπόδια, όπως οι εγγενείς κώδικες που ορίζουν την δημιουργία κινητικής ενέργειας, οι οποίοι δεν είναι

πλήρως γνωστοί και οι αρχές που οδηγούν σε μια βέλτιστη απόδοση έχουν αρχίσει να μοντελοποιούνται. (Gazzaniga, 2009)

2.3.5 Μνήμη (memory)

Η μνήμη αποτελεί μια θεμελιώδη λειτουργία του ανθρώπινου νου και εγκεφάλου, που συχνά θεωρείται το κεντρικότερο θέμα της γνωσιακής νευροεπιστήμης. Ο ακριβής καθορισμός της είναι ιδιαίτερα δύσκολο να αποδοθεί, καθώς χαρακτηρίζεται ως μια πολύπλοκη έννοια και όχι ως μια μεμονωμένη. Σύμφωνα με τον Endel Tulving κατά την πρώτη έκδοση του βιβλίου «The Cognitive Neurosciences», η περιγραφή του στην προσπάθεια χαρακτηρισμού της μνήμης, αποδίδεται ως εξής: «Η μνήμη είναι πολλά πράγματα. ακόμη και αν κάποια ευρήματα που χαρακτηρίζονται από αυτό το πλαίσιο δεν εμπίπτουν τελικά σε αυτό το πεδίο. Αποτελεί ένα δώρο της φύσης ως η ικανότητα των ζωντανών οργανισμών να διατηρούν και κάνουν εύχρηστη την απόκτηση κάποιας πληροφορίας. Ο όρος αυτός πρέπει να σχετίζεται στενά με την μάθηση, καθώς η μάθηση συνεπάγεται την διατήρηση των πληροφοριών». Στο εναρκτήριο σημείο η μνήμη περιλαμβάνει την αποσύνθεση με σκοπό την επεξεργασία και κωδικοποίηση, ενώ οι υπόλοιπες λειτουργίες που ακολουθούν είναι η αποθήκευση, η ενοποίηση και η ικανότητα ανάκτησης. Η πεποίθηση πως η μνήμη υποδιαιρείται σε διάφορες μορφές αναλόγως με την λειτουργία που επιτελείται και έννοιες όπως λειτουργική, επεισοδιακή, σημασιολογική, πρόσκαιρη και διαδικαστική είναι ιδιαίτερα γνώριμες στους επιστήμονες του κλάδου. (Gazzaniga, 2009)

biology and psychology



Εικόνα 13 Κατηγοριοποίηση στην μελέτη της λειτουργίας της μνήμης. Πηγή: By Bernhard Wenzl - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12820734>

Άλλος τρόπος διαχωρισμού της μνήμης είναι η βραχυπρόθεσμη και η μακροπρόθεσμη. Στην πρώτη περίπτωση η ικανότητα κωδικοποίησης και αποθήκευσης είναι περιορισμένη, καθώς επίσης η απομνημόνευση των στοιχείων διαρκεί για λίγο χρονικό διάστημα. Η μακροπρόθεσμη μνήμη διαθέτει απεριόριστη χωρητικότητα, οπότε τα προβλήματα μη ενθύμησης ενδέχεται να οφείλονται σε θέματα αποθήκευσης ή ανάκτησης. (Τζελέπη, 2014)

2.3.6 Γλώσσα (language)

Αν και στο παρελθόν έχουν διατυπωθεί διάφορες υποθέσεις μη σύνδεσης των γλωσσικών διεργασιών και της γνωσιακής, οι περισσότερες θεωρίες στην επιστημονική κοινότητα υποστηρίζουν πως ο τρόπος που κάποιος ομιλεί, είναι καθοδηγούμενος με τον τρόπο που αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του. Ωστόσο, οι σαφείς και ακριβείς τεκμηριωμένες θέσεις για τις εννοιολογικές αναπαραστάσεις σε διάφορες ηλικίες, είναι περιορισμένες. Στον τομέα γλώσσας και μάθησης, οι σχέσεις όλων αυτών ενδέχεται να είναι πολύ πιο περίπλοκες από ότι υποδηλώνεται από την κλασική θεώρηση, στον βαθμό ότι οι έννοιες καθαυτές ποικίλουν ανάλογα με την γλωσσική κοινότητα που ανήκει κάποιος. (Üna& Papafragoul, 2020) Το παράδειγμα ατόμων που προκύπτει από έρευνες, στο οποίο ορισμένα άτομα έκαναν σωστή προφορική ονομασία εικόνων μα κατά την καταγραφή τους έκαναν σημασιολογικά λάθη, υποδηλώνει πως η φωνολογική και γραπτή μορφή των λέξεων αντιπροσωπεύονται από διακριτούς νευρικούς μηχανισμούς. Φαίνεται πως πολλές μελέτες διεξάγονται στην συγκεκριμένη θεματική με διαφορετικά κέντρα εστίασης, ωστόσο, παρά τις σημαντικές εξελίξεις, απαιτείται περισσότερη διεύρυνση και μελέτη για την πλήρη κατανόηση της βιολογίας της γλώσσας. Παρομοίως, από την πλευρά παρατήρησης της γλώσσας να αποτελεί η γνωστική νευροεπιστήμη, η συνολική εικόνα και ειδικότερα οι σύνθετες λειτουργίες (π.χ. συντακτική και σημασιολογική ολοκλήρωση), απαρτίζεται κυρίως από αξιολογικές ιδέες και υποθέσεις, παρά από διατυπωμένες θεωρίες. (Gazzaniga, 2009)

2.3.7 Συναισθηματικός και κοινωνικός εγκέφαλος (social and emotional brain)

Οι κοινωνικές και συναισθηματικές πτυχές του εγκεφάλου, φαίνεται να είναι άρρηκτα συνδεδεμένες, ενώ η προσαρμοστικότητα των συναισθημάτων συνδέεται στενά με την κοινωνική τους αξία και σχεδόν ολοκληρωτικά, η κοινωνική αλληλεπίδραση παράγει συναισθηματικές αντιδράσεις. Η θεματική αυτή αποτελεί μια από τις πρώτες σε ενδιαφέρον μεταξύ των επιστημόνων της γνωστικής νευροεπιστήμης. Η διεπιστημονικότητα αυτής

παρέχει άφθονα στοιχεία προς όφελος διάφορων ψυχολογικών δομών με πολλαπλά επίπεδα ανάλυσης, από το πολιτισμικό ως το μοριακό. Πιο συγκεκριμένα, η διερεύνηση της θεματικής αυτής είναι πολυεπίπεδη, από τον ρόλο των εμπλεκόμενων συστημάτων, μοριακούς και κυτταρικούς μηχανισμούς, την κοινωνική γνώση, ανθρωπιστικές μελέτες των συναισθημάτων και ρύθμιση αυτών, κ.α.. Γίνεται σαφές πως οι έρευνες χρησιμοποιώντας πολλαπλές προσεγγίσεις προωθούν το πεδίο προς έναν απώτερο στόχο, την ανάπτυξη δηλαδή συνεκτικών μοντέλων για την κατανόηση της διαδικασίας της δημιουργίας συναισθημάτων και την επιτέλεση της κοινωνικής πτυχής. (Gazzaniga, 2009)

2.3.8 Λήψη αποφάσεων

Η διαδικασία αυτή αφορά την επιλογή μιας άποψης έναντι άλλων, εναλλακτικών. Η λήψη αποφάσεων ενεργοποιεί αρκετές διαδικασίες, όπως τον τρόπο που το άτομο αναζητά δεδομένα, τα συγκρίνει μεταξύ τους και εν τέλει καταλήγει σε μια απόφαση, καθώς επίσης και η εξέλιξη αυτής. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας, διάφοροι παράγοντες λαμβάνουν μέρος, όπως η ποιότητα αντίληψης, η εκτελεστική ικανότητα, και γενικότερα το γνωσιακό επίπεδο. (Menghan et al, 2019)

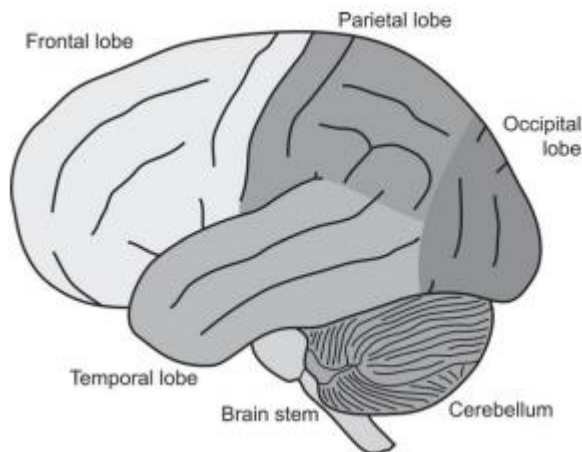
2.3.9 Συνειδητό (consciousness)

Η φύση της σχέσης μεταξύ υποκειμενικού, αντικειμενικού και υλικού κόσμου της συνείδησης βρίσκεται στο κέντρο του αρχαίου ζητήματος μεταξύ νου και σώματος. Οι επιστήμονες που εργάζονται σε αυτή την θεματική προσπαθούν να κατανοήσουν τον τρόπο και τον λόγο που η νευρωνική βάση μιας συνειδητής αίσθησης είναι συγκεκριμένη, τον λόγο που οι αισθήσεις είναι δομημένες κατ' αυτόν τον τρόπο, πώς αποκτούν νόημα και γιατί ορισμένες συμπεριφορές συμβαίνουν εκτός συνειδητότητας. Επίσης, αυτός ο κλάδος συμβάλλει στην κατανόηση της συνείδησης της θέλησης και της δράσης. Συμπερασματικά, η συνείδηση φαίνεται να είναι καθοριστικό στοιχείο ώστε να μπορεί να βιώσει ένα υποκείμενο κάτι. (Gazzaniga, 2009)

2.4 Ο εγκέφαλος

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος μοιάζει δομικά με των υπόλοιπων θηλαστικών, εκτός του ότι είναι μεγαλύτερος αναλογικά με σωματικό του μέγεθος, ιδιαίτερα το μέρος του φλοιού, το

οποίο καλύπτεται από νευρικό ιστό. Ο εγκεφαλικός φλοιός επίσης, χωρίζεται σε τέσσερα βασικά κομμάτια, τους λοβούς, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα και είναι ο μετωπιαίος (frontal lobe) , ο βρεγματικός (parietal lobe), ο κροταφικός (temporal lobe), και ο ινιακός (occipital lobe). Κάθε μια από αυτές περιοχές έχει συνδεθεί με μια σειρά από συγκεκριμένες λειτουργίες που επιτελούνται, όπως παράδειγμα ο έλεγχος της κίνησης, η γλώσσα και άλλες.



Εικόνα 14 Περιοχές του εγκεφάλου. Πηγή : (Bielza&Larranaga, 2020)

Εκτιμάται πως ο εγκεφαλικός φλοιός περιέχει συνολικά 86 δισεκατομμύρια από νευρώνες και 240 τρισεκατομμύρια συνάψεις. Το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας κινήθηκε σχετικά με την χαρτογράφηση του, καθώς πέραν από μεγάλη πρόκληση του 21 αιώνα, θεωρείται πως αποτελεί το μέσο κατανόησης χιλιάδων μυστικών της ανθρώπινης ύπαρξης και σκέψης, ενώ ξεκλειδώνονται ταυτόχρονα αμέτρητες δυνατότητες. Κατά την διάρκεια αυτής της ευγενούς προσπάθειας, πολλές επιστήμες συνεισφέρουν, από την βιολογία και την χημεία έως την ψυχολογία και την υπολογιστική. Αναρίθμητα προγράμματα εστιασμένα στην μελέτη του εγκεφάλου από νευροεπιστήμονες έχουν λάβει χώρα τα τελευταία χρόνια σε πάρα πολλά πανεπιστήμια, ινστιτούτα και εργαστήρια ανά τον κόσμο. (Bielza&Larranaga, 2020)

ΕΝΟΤΗΤΑ 3 - Υπολογιστική Νευροεπιστήμη

3.1 Εισαγωγή

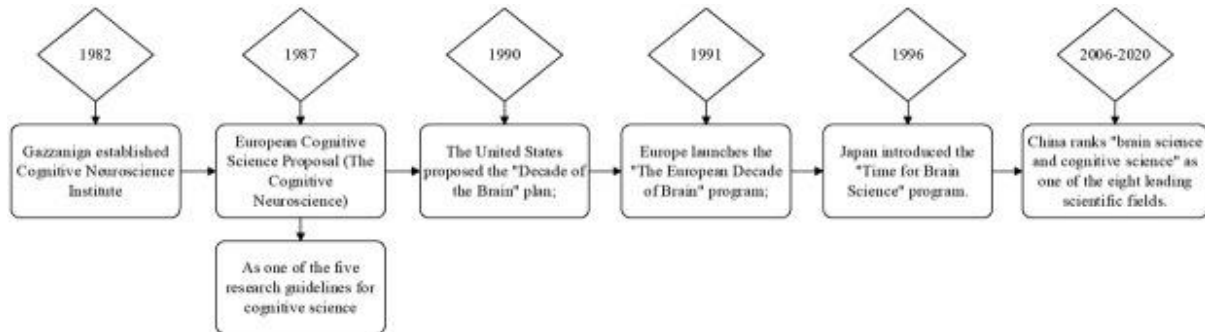
Ο όρος υπολογιστική νευροεπιστήμη υποδεικνύει πως πρόκειται για ένα ερευνητικό πεδίο που υφίσταται ως υποκατηγορία της νευροεπιστήμης και χαρακτηρίζεται από μεθόδους της υπολογιστικής, δηλαδή την χρήση μαθηματικών μοντέλων για την κατανόηση της λειτουργίας του νευρικού συστήματος και των διαδικασιών που επηρεάζει, παράδειγμα τις γνωσιακές ικανότητες. Ως αντικείμενο του κλάδου ορίζονται οι απαντήσεις σε βασικά ερωτήματα που συναντώνται στην επιστημονική κοινότητα και αφορούν την πλήρη κατανόηση του νευρικού συστήματος (του ΚΝΣ κυρίως), μέσω της υπολογιστικής επιστήμης.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη των σκοπών είναι πλέον αρκετές και ανεπτυγμένες. Ορισμένες από αυτές είναι η οπτική απεικόνιση διάφορων περιοχών του εγκεφάλου, η γενετική, οι κυτταρικές δραστηριότητες, η δημιουργία μοντέλων, η προσομοίωση και άλλες. Γίνεται εμφανές πως σε αρκετές περιπτώσεις αποτελεί μέσο σύγκλισης και άλλων επιστημών, παράδειγμα της βιολογίας.

3.1.2 Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη

Η πρώτη αναφορά στον όρο cognition εμφανίζεται περίπου το 1225, χρονικά κοντά στην εποχή που εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην βιβλιογραφία η συλλογιστική, ενώ συνέχισαν να εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου. (Chaney, 2013) Οι μετατροπές στην χρήση και την σημασία του όρου φτάνουν ως το έτος 1980, όπου η επιστημονική κοινότητα συνειδητοποίησε πως τα θεμέλια της γνωσιακής επιστήμης, ήταν η νευροεπιστήμη. Ήταν πλέον αναγκαστική η μελέτη του νου με βάση τον εγκέφαλο και τις λειτουργίες του, και όχι ως διαφορετικό πλέγμα λειτουργιών, κάτι που άρχισε να στρέφει τους μελετητές στην διερεύνηση υπό το πρίσμα της νευροεπιστήμης. Αυτός ο συνδυασμός πέραν από μια καινούρια προσεγγιστική κατεύθυνση (η οποία εδραιώθηκε στην πορεία), αποτελεί και ένα πεδίο διαφορετικού πειραματισμού. Πιο συγκεκριμένα, είναι εφικτή και επιθυμητή η σύζευξη του επιστημονικού αυτού κλάδου με την υπολογιστική. Όπως έχει αναφερθεί, το ερευνητικό καθήκον και ο λόγος ύπαρξης της γνωσιακής νευροεπιστήμης, είναι ουσιαστικά η αποσαφήνιση των μηχανισμών της γνωσιακής ικανότητας και της εγκεφαλικής δραστηριότητας προς αυτό τον σκοπό. Συγκεκριμένα, η εις βάθος εστίαση στους μηχανισμούς που λαμβάνουν χώρα στον εγκέφαλο και τα επιμέρους μέρη, τους ιστούς και γενικά όσα

συστατικά κινητοποιούνται και συμμετέχουν ώστε να επιτευχθεί μια γνωσιακή δραστηριότητα. (Ren, 2019) Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται χρονολογικά η ανάπτυξη του κλάδου αυτού.



Εικόνα 15 Στάδια ανάπτυξης γνωσιακής νευροεπιστήμης. Πηγή: (Ren, 2019)

Η κυριότερη μέθοδος μελέτης αυτών, ήταν τεχνικές απεικόνισης όπως η fMRI που αναφέρονται παρακάτω. Αυτό επειδή κατά την διαδικασία γνωσιακών λειτουργιών, οι επιστήμονες έπρεπε να ανακαλύψουν την συσχέτιση με την εγκεφαλική δραστηριότητα μέσω νευρικές διεργασίες κ.α.. Υπό αυτό το πρίσμα, άνθισαν διάφορων ειδών αντικείμενα μελετών, όπως η γνωσιακή ανατομία - που μελετούσε το ποια σημεία του εγκεφάλου ήταν ενεργά, αναλόγως με την αντίστοιχη γνωσιακή διαδικασία - η χαρτογράφηση αυτών, η αιμοδυναμική απόκριση πίσω από την δραστηριότητα των νευρώνων, και άλλες. (Posner & DiGirolamo, 2000)

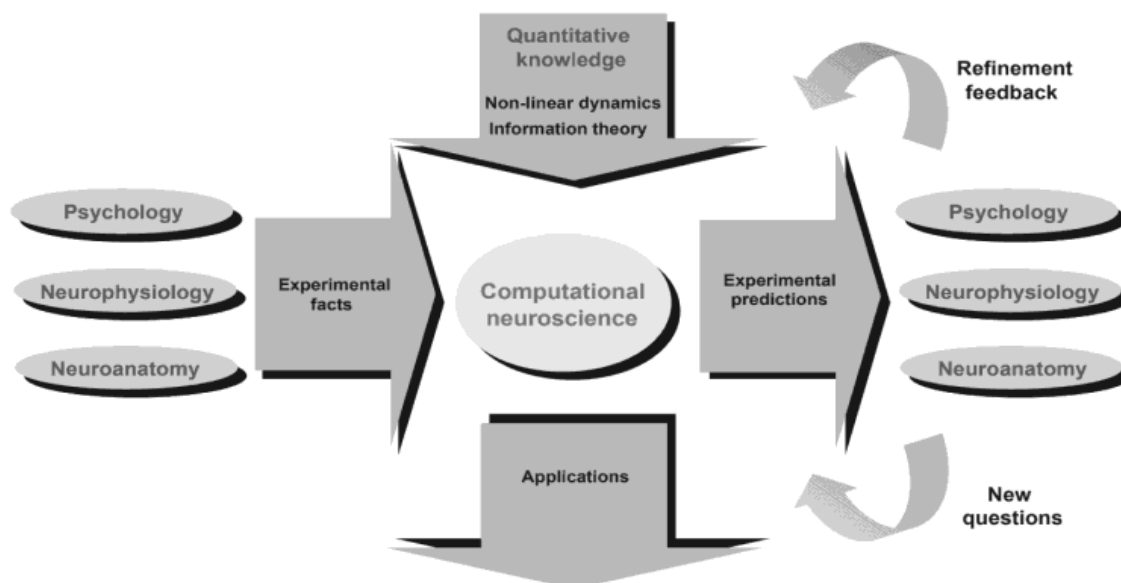
3.2 Εστίαση του κλάδου

Ο κλάδος της γνωσιακής νευροεπιστήμης αποτελεί τον σύνδεσμο μεταξύ των γνωσιακών διεργασιών που μελετώνται από τον αντίστοιχο κλάδο της ψυχολογίας και των βιολογικών συστημάτων που προκύπτουν από τις νευροεπιστήμες, ως προς την αναζήτηση των μεταξύ τους χαρακτηριστικών και επιδράσεων. Η χαρτογράφηση αυτών των συσχετίσεων, φανερώνεται η σημασιολογική δομή του κλάδου, κάτι που είναι απαραίτητο για την ορθή διερεύνηση των ζητημάτων και τον ορισμό κατευθύνσεων προς μελλοντικές έρευνες. Η έρευνα των (Beam et al, 2014) εστιάζει στην συλλογή και ανάλυση έγκυρων ερευνών στην πληθώρα που συναντά κανείς στην βιβλιογραφία της νευροεπιστήμης, σε διάστημα 30 μηνών, με τα εξής κριτήρια, την χρήση fMRI ανάλυσης, την διερεύνηση της συσχέτισης βιολογικών παραγόντων και κάποιας ψυχολογικής λειτουργίας και εμπειρικά δεδομένα και

μετααναλύσεις. Οι τρεις πιο δημοφιλείς όροι, σύμφωνα με τα ευρήματα, ήταν ο προμετωπιαίος φλοιός, ο πρόσθιος κυκλικός φλοιός και η αμυγδαλή, λόγω της ισχυρής παρουσίας τους στις συνδέσεις εγκεφάλου και γνωστικότητας. Αυτό το αποτέλεσμα παρουσιάστηκε με την μορφή διαγραμμάτων της αντίληψης, της ανατομικής διαδικασίας και τον συνδυασμό τους. Παρά το γεγονός ότι τα δύο διαγράμματα μπορεί να μοιάζουν παρόμοια, έχουν διακριτές διαφορές, ενώ επίσης ο σχηματισμός του καθοδηγείται από ανατομικά κριτήρια. Προκύπτει πως οι πιο κεντρικοί όροι είναι οι prefrontal cortex η Amygdala, ο parietal cortex, και ο hippocampus.

Ο κλάδος αυτός δεν είναι πολλά χρόνια ενεργός, όπως εξετάστηκε και νωρίτερα στην παρούσα ενότητα. Ωστόσο, διαθέτει μια επαρκώς σημασιολογική καταγραφή σε θέματα εγκεφάλου-συμπεριφοράς. Σε αντίθεση με προηγούμενες προσεγγίσεις, η ανατομικά καθοδηγούμενη σύνδεση των γνωσιακών λειτουργιών αποτελεί την ουσία του κλάδου και τον χώρο που κατέχει μεταξύ των άλλων επιστημονικών πεδίων. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η ταξινόμηση της διευρυμένης βιβλιογραφίας σε πιο συγκεκριμένες πυρηνικές αρχές. (Beam et al, 2014)

Η κύρια εστίαση του κλάδου αφορά την κατανόηση στους μηχανισμούς του εγκεφάλου. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο μέσο η ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων ώστε να αξιολογηθούν οι θεωρητικές υποθέσεις που δομούνται υπό το πλαίσιο διερεύνησης αυτών των μηχανισμών. Επιπλέον, θέτοντάς το από μια διαφορετική οπτική, το θεωρητικό υπόβαθρο διάφορων συναφών επιστημών ασχολείται κυρίως με το τι κάνει ο ανθρώπινος εγκέφαλος και έτσι οι πειραματικές μέθοδοι συμβαίνουν σε ζωντανούς οργανισμούς ως μέσο επαλήθευσης και τεκμηρίωσης. Η υπολογιστική νευροεπιστήμη προσπαθεί να ξετυλίξει την ουσία των λειτουργιών αυτών, μελετώντας τον τρόπο που συμβαίνουν. Τέτοιες υποθέσεις βρίσκουν απάντηση σε υπολογιστικές και ποσοτικές εκτιμήσεις. (Trappenberg, 2010)



Εικόνα 16 Ο ρόλος της υπολογιστικής νευροεπιστήμης στην διαδικασία ενσωμάτωσης δεδομένων που προκύπτουν από πειράματα διαφόρων κατευθύνσεων. .Πηγή: (Trappenberg, 2010)

Για κάθε διαφορετικό πεδίο προφανώς αναπτύσσονται διαφορετικοί τύποι μοντέλων, καθώς επίσης και η έμφαση στις μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις των διαδικασιών που επιτελούνται από τον εγκέφαλο. Θα ήταν επίσης ενδιαφέρον η δημιουργία μοντέλων ή η ενσωμάτωση αυτών από διάφορες πειραματικές μετρήσεις προκειμένου να αποτελεί ένα συνεπές συνολικό μοντέλο προς παρατήρηση. Τα επιστημονικά πεδία που θα μπορούσαν αν συνεισφέρουν σε αυτό είναι η νευροβιολογία, η φυσιολογία μέχρι και την ψυχολογία. Σε συνέχεια αυτού του έργου θα μπορούσε να αποτελέσει η συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων των μεμονωμένων στοιχείων, εφόσον έχει καθοριστεί εκ νέου ένα σύνολο υποθέσεων προς διερεύνηση.

Στην προσπάθεια κατανόησης και αναπαράστασης των λειτουργιών του εγκεφάλου έχει αναπτυχθεί ένας κλάδος που εστιάζει στην παρατήρηση αυτή μέσω τεχνητών στοιχείων. Τα «τεχνητά νευρωνικά δίκτυα» είναι μια τέτοια προσέγγιση, καθώς αποτελούν μια ομάδα συνδεδεμένων μεταξύ τους νευρώνων πολλαπλών εισόδων αλλά μιας εξόδου ο καθένας. Λόγω της διασύνδεσης, η έξοδος ενός νευρώνα μπορεί να αποτελεί είσοδος για κάποιον άλλο. Το πλέγμα αυτό αποκτά κατάλληλους συντελεστές μέσω κανόνων μάθησης, οι οποίοι ουσιαστικά είναι διαμορφωμένοι αλγόριθμοι.

Η ανάπτυξη και εφαρμογή των μοντέλων αυτών συνοδεύεται με αρκετά θετικά, συνεισφέροντας συνολικά στην ανάπτυξη του κλάδου της υπολογιστικής νευροεπιστήμης, η οποία με την σειρά της προωθεί και κάθε επιμέρους τομέα της. Ένα από τα σημαντικότερα αποτελεί την νευροβιολογική οπτική, κατά την οποία και γίνεται ο σχεδιασμός των νευρώνων και όλων αυτών των δικτύων. Συγκεκριμένα, αναζητάται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αναλογία με τον εγκέφαλο, προκειμένου τα μοντέλα να είναι αξιόπιστα και ρεαλιστικά. (Ανδρικοπούλου, 2011)

3.3 Τεχνολογία των νευροεπιστημών

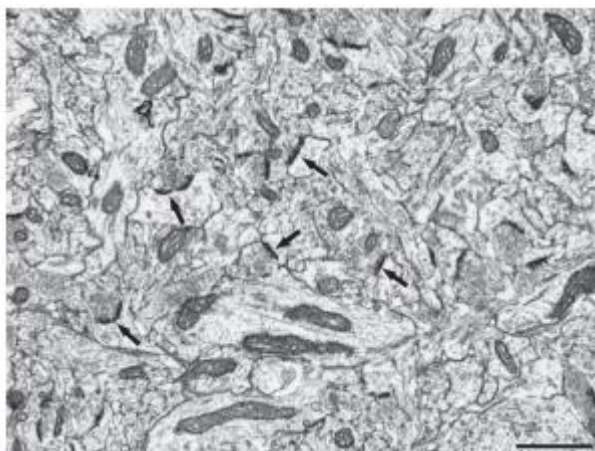
Ένας επίσης βοηθητικός κλάδος που αναπτύσσεται υπό το πλέγμα της νευροεπιστήμης αποτελεί η νευροτεχνολογία, κατά την οποία συντάσσεται κάθε τεχνολογική επίτευξη που συμβάλλει στην κατανόηση του εγκεφάλου. Εκτός από την αδιαμφισβήτητα σημαντική επιτυχία στην απεικόνιση, τόσο σε ερευνητικό όσο και σε κλινικό επίπεδο, υπάρχουν και οι τεχνολογίες οι οποίες ασχολούνται κυρίως με την βελτίωση αλλά και την επιδιόρθωση σε εγκεφαλικές λειτουργίες. Φυσικά, από μια γενική σκοπιά εξίσου και ο τομέας της φαρμακευτικής/χημείας συνεισφέρει με την προσφορά φαρμάκων και ουσιών που θεραπεύουν ορισμένα θέματα ψυχικής υγείας ή επεμβαίνουν σε ασθένειες σχετικές με τον εγκέφαλο. (Bielza&Larranaga, 2020) Σε αυτό το πεδίο εντάσσονται επίσης και μέθοδοι οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί υπό το πρίσμα της επιστήμης της υπολογιστικής νευρολογίας και συναντώνται με διεπιστημονικό τρόπο και σε άλλους τομείς, παράδειγμα των γνωσιακών επιστημών που συζητούνται εκτενέστατα σε επόμενες ενότητες.

3.3.1 Μέθοδοι απεικόνισης

Η οπτική απεικόνιση του μονού νευρώνα (single neuron)

Η απεικόνιση της ηλεκτρικής δραστηριότητας ενός μικρού συνόλου νευρώνων, ή του μοναδικού νευρώνα σε μικρή κλίμακα θεωρείται πλέον σχετικά εύκολη εργασία. Η υποβολή ερεθισμάτων σε ένα δείγμα εντός εργαστηρίου δίνει την επιθυμητή απεικόνιση, καθώς αποτελεί μια μη επεμβατική μέθοδο. Για μεγαλύτερα επίπεδα πολυπλοκότητας χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι, όπως τα συνεστιακά μικροσκόπια (Confocal microscopy), ή laser σάρωσης. Αυτή η δυνατότητα προσφέρει την μελέτη παρατήρησης

δειγμάτων με μεγάλο πάχος χωρίς να χάνονται πολύτιμες πληροφορίες, καθώς είναι διαμορφωμένο κατά αυτόν τον τρόπο (παράδειγμα, το βάθος εστίασης είναι ελεγχόμενο). Έπειτα, με την χρήση κατάλληλου λογισμικού, οι εικόνες αυτές μπορούν να αναπαρασταθούν σε 2D και 3D για καλύτερη επεξεργασία και συλλογή δεδομένων. Η εστίαση ενός μικροσκοπίου βέβαια καθορίζεται από το μήκος κύματος του φωτός, καθώς όσο μικρότερο είναι αυτό, τόσο περισσότερη λεπτομέρεια παρατηρείται. Αυτό το γεγονός στέκεται ως αρχή της ηλεκτρικής μικροσκοπίας, καθορισμένη από ηλεκτρομαγνητικούς όρους, και μέσω αυτού πλέον τα μικροσκόπια είναι κατασκευασμένα ώστε να επιτρέπουν τους μελετητές να παρατηρήσουν διάφορους ιστούς με λεπτομέρεια. Δύο κοινοί τύποι που χρησιμοποιούνται συχνά είναι τα TEM (transmission electron microscope) και SEM (scanning electron microscope) μικροσκόπια. Πέραν αυτής της παρατήρησης σημαντική παραμένει και η νευρική δραστηριότητα (συνάψεις, ανατομικές συνδέσεις κ.λπ.), καθώς αποτελεί τον πυρήνα της μελέτης σε γνωσιακές λειτουργίες. Με την βοήθεια της νανοτεχνολογίας – δηλαδή αποστάσεις σε κλίμακες νανομέτρων – συστοιχίες ηλεκτροδίων σε βάσεις σιλικόνης αποτελούν την μέθοδο παρατήρησης χιλιάδων νεύρων. Με την σειρά τους, μετατρέπονται σε απεικονίσεις 3D. (Bielza&Larranaga, 2020)



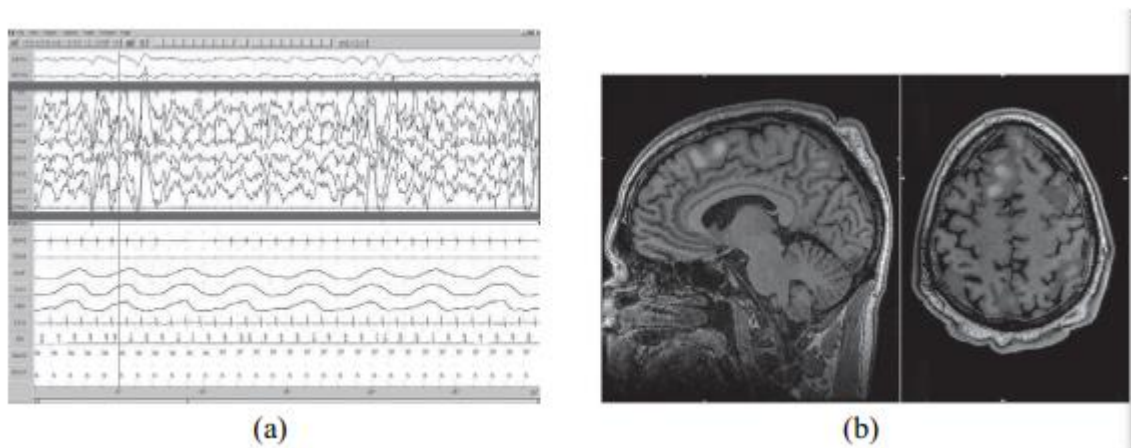
Εικόνα 17 SEM απεικόνιση του φλοιού ενός ποντικού. Τα βέλη επισημαίνουν τις μη συμμετρικές συνάψεις (1μm not color version.). Πηγή: (Bielza&Larranaga, 2020)

Εκτός από αυτό το υλικό, η απεικόνιση με ασβέστιο προσφέρει μια μέθοδο παρατήρησης της αλλαγής φθορισμού η οποία μεταφράζεται ουσιαστικά σε αλλαγές στο ενδοκυτταρικό ασβέστιο, κάτι που θεωρείται ως έμμεσος δείκτης νευρικής δραστηριότητας, καθώς παρατηρεί συναπτικές λειτουργίες αλλά και την συναπτική πλαστικότητα. (Grienberger&Konnerth, 2012) Αυτές είναι ορισμένες από τις μεθόδους απεικόνισης.

Ορισμένες δυσκολίες προκύπτουν, όπως πλέγματα που συναντώνται βαθύτερα από την επιφάνεια του εγκεφάλου. Η υπολογιστική οπτική προσφέρει μια βοήθεια σε αυτό, μέσω της επεξεργασίας στον φθορισμό των βαφών που χρησιμοποιούνται κατά την παρατήρηση και άλλων τεχνικών. Η συνθετική βιολογία επίσης προσφέρει λύσεις διαμορφώνοντας γενετικά τα είδη προς παρατήρηση μέσω μορίων που αλλάζουν όταν τα νεύρα ενεργοποιούνται. Οι πιο πρόσφατες τεχνολογίες που ελέγχουν ορισμένα κύτταρα προς παρατήρηση της ασθένειας του Parkinson ή της επιληψίας, είναι προς ανάπτυξη με την προσέγγιση γενετικής και χημικής απεικόνισης. (Bielza&Larranaga, 2020)

Απεικόνιση μεγαλύτερων περιοχών

Για την παρατήρηση μεγαλύτερων περιοχών στον εγκέφαλο, χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως ηλεκτροεγκεφαλογράφηματα και μαγνητοεγκεφαλογράφηματα που είναι μη επεμβατικές, ή και ηλεκτρογραφήματα του φλοιού που απαιτούν εναπόθεση μέσω εγχείρησης. Βασική επίσης τεχνική θεωρείται η fMRI (functional magnetic resonance imaging» που προσφέρει μια αρκετά λεπτομερή χαρτογράφηση ενώ επίσης καταγράφει και την ροή του αίματος. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται α) μια EEG εικόνα που πάρθηκε κατά την διάρκεια του ύπνου και b) μιας fMRI απεικόνισης του εγκεφάλου κατά την διαδικασία της γνωσιακής λειτουργίας της λειτουργικής μνήμης (working memory).



Εικόνα 18 α)Απεικόνιση EEG και b) fMRI

Μια άλλη τεχνική που προσφέρει απεικόνιση μέσω εκπομπής ποζιτρονίων, η PET (positron emission tomography), επιλέγεται για μελέτες που αφορούν τον εγκέφαλο και την καρδιά μέσω της παρατήρησης βιοχημικών διαδικασιών, παράδειγμα του μεταβολισμού της γλυκόζης και της κατανάλωσης οξυγόνου. Όπως αρκετές από τις προηγούμενες μεθόδους

έρευνας, που αποτελούν και διαγνωστικά εργαλεία, έτσι και η PET συναντάται σε αρκετούς ιατρικούς χώρους. Στα ερευνητικά εδάφια αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο παρατήρησης νευρικών δυσλειτουργιών που οδηγούν στην κατάθλιψη, την νόσο Parkinson και άλλες, καθώς επίσης και αποτελεί μέθοδο μελέτης λειτουργιών της διαδικασίας μάθησης και παραγωγής γλώσσας. (Britannica T. E.-p., 2013)

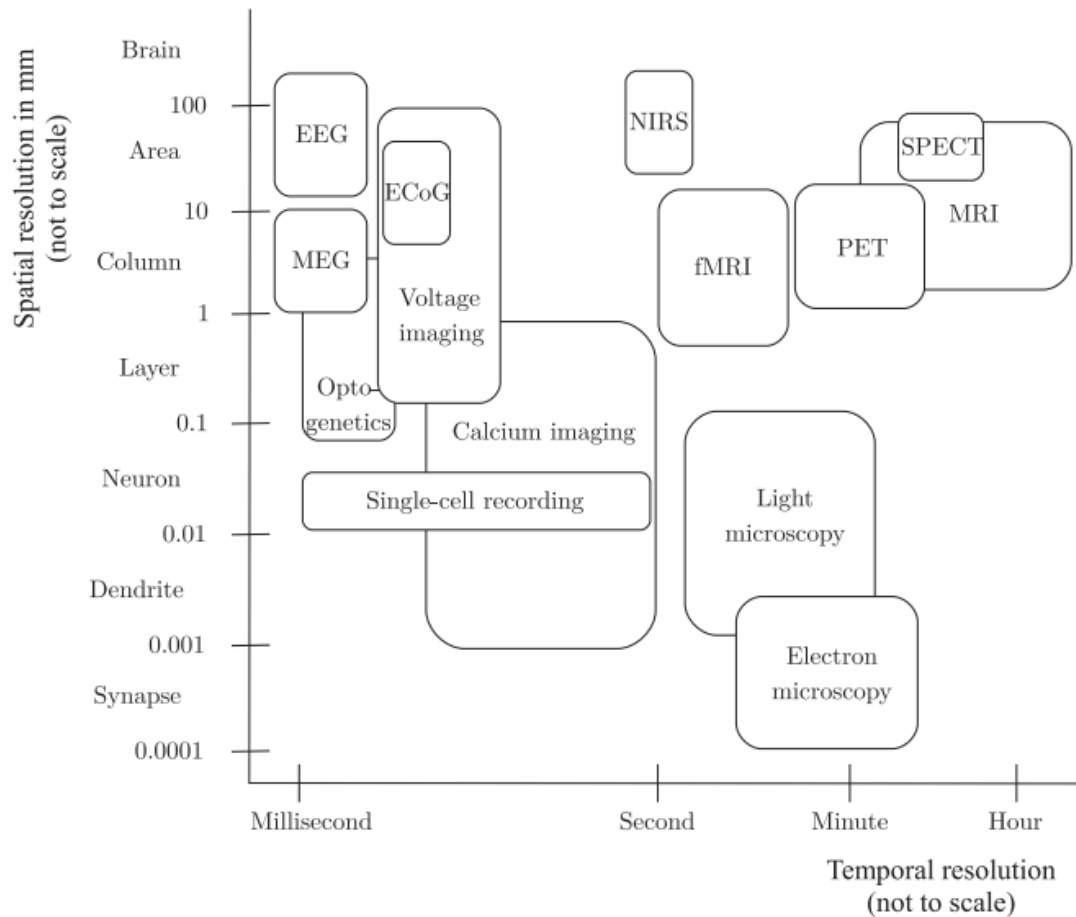
Η SPECT (single photon emission computed tomography) αποτελεί μέθοδο αρκετά παρόμοια με την προηγούμενη που αναφέρθηκε, με λιγότερη λεπτομέρεια. (Britannica T. E., 2018)

Η NIRS (Near infrared spectroscopy) αποτελεί μέθοδος εστιασμένη στις ανάγκες και την κατανάλωση οξυγόνου από τον εγκέφαλο με την μέθοδο ακτινοβολίας εγγύς του υπαίθριου φάσματος.

Οι προηγούμενες απεικονιστικές τεχνικές είναι ιδιαίτερα σημαντικές καθώς αποτελούν θεμελιώδεις μεθόδους στα ερευνητικά πεδία της γνωσιακής νευροεπιστήμης. Σε θέματα ανατομικά μια σημαντική τεχνική είναι η μαγνητική απεικόνιση (MRI – magnetic resonance imaging) η οποία δίνει την δυνατότητα παρακολούθησης της φαιάς ουσίας και την διαχώριση της από την λευκή. (Bielza&Larranaga, 2020) Παράδειγμα, σύμφωνα με έρευνα του 1999 παρατηρήθηκε η προσοχή ενός ατόμου και τον ρόλο που έχει στην αντιληπτική ικανότητα ακόμη και μικρών σε επίπεδο ερεθισμάτων. Η υπόθεση πως η προσοχή διαμορφώνει την δραστηριότητα των νEURων στον οπτικό φλοιό και λειτουργεί στο πρώτο στάδιο του φλοιού, ήταν αμφιλεγόμενη. Μέσω μιας σειράς πειραμάτων της ανάλυσης ατόμων κατά απαιτητικές οπτικές εισαγωγές σε ερεθίσματα, η χρήση MRI κατέδειξε πως το σημείο αυτό του εγκεφάλου δεν διέπεται απλά από την αισθητηριακή διέγερση, αλλά επηρεάζεται κατά πολύ από την λειτουργία της προσοχής. (Somers et al, 1999)

Σε αρκετές περιπτώσεις για τις ανάγκες μιας έρευνας υπάρχει και συνδυασμός τεχνικών, μα σε αρκετές περιπτώσεις παραμένουν ως εμπόδια αρκετοί περιορισμοί που προέρχονται από τις ίδιες τις μεθόδους απεικόνισης. Παράδειγμα, σε μεγάλης κλίμακας παρατηρήσεις δεν διακρίνεται αν τα νευρικά δίκτυα είναι ενεργοποιημένα ή όχι. Στην παρακάτω εικόνα δίνεται μια εμπεριστατωμένη παρουσίαση των διαφόρων μεθόδων που αναφέρθηκαν σε σχέση με τον χρόνο και της λεπτομέρειας εστίασης (χώρο/μέγεθος). Ως εκ τούτου, το κύριο μέλημα στην ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών για τον ερευνητικό τομέα αποτελεί η ερμηνευση και η διαμόρφωση του νευρωνικού όγκου προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη κατανόηση του πως το σύνολο όλων αυτών των εγκεφαλικών λειτουργιών

καθοδηγούν την συμπεριφορά, την σκέψη, τις γνωσιακές διαδικασίες και άλλες, καθώς και την παρατήρηση διάφορων δυσλειτουργιών που αναπτύσσονται, οδηγώντας σε νευρολογικές διαταραχές. (Bielza&Larranaga, 2020)



Εικόνα 19 Μέθοδοι απεικόνισης σε σχέση με τις διαστάσεις που μελετούν. Πηγή : (Bielza&Larranaga, 2020)

3.3.2 Καθοδήγηση με βάση τα δεδομένα

Ο τρόπος της επιστημονικής μεθόδου διεξαγωγής ερευνών είναι δεδομένος για τις μελέτες σε όλα τα επιστημονικά πεδία, όπως και της υπολογιστικής νευροεπιστήμης που μελετάται. Ορισμένες φορές οι έρευνες αυτές προσεγγίζονται μέσω υποθέσεων που τίθενται και διατυπώνονται καθαρά και εστιασμένα στο υπό μελέτη ζήτημα. Κατά μεγάλα ποσοστά των περιπτώσεων αυτών ορισμένες πρακτικές αποτελούνται από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνταν τις εποχές που δεν ήταν ακόμη διαδεδομένη η χρήση του ίντερνετ, ή δεν υπήρχε. Αυτές είναι ο λεπτομερής σχεδιασμός του πειράματος, η διεξαγωγή και η συλλογή των δεδομένων, η αποθήκευση αυτών σε τοπικές μονάδες, η έλλειψη προσιτότητας σε αυτά, αναλύσεις δεδομένων και έπειτα ως τελευταίο στάδιο η δημοσίευση της περιγραφής της διαδικασίας και των συμπερασμάτων που προέκυψαν. Η δημιουργία λογισμικού πλαισίου που

θα εγκαθίστανται στα ερευνητικά κέντρα και τους υπολογιστές αυτών προσφέρει μια δυναμική εξέλιξη στην διαχείριση της πληροφορίας εφόσον ο κώδικας, τα δεδομένα και οι αναλύσεις αυτών θα είναι προσβάσιμα οπουδήποτε. Αυτόματα γίνεται κατανοητό πως η έρευνα θα ακολουθήσει διαφορετικούς ρυθμούς εξέλιξης, εφόσον θα αποτελεί πλέον μια πύλη διεθνούς και διεπιστημονικής προσπάθειας. Αυτή η αναφερόμενη ως «data-driven» εποχή στην έρευνα θα συγκεντρώνει τεράστιες ποσότητες από δεδομένα προκειμένου να «περαστούν» από αυτοματοποιημένα μοντέλα επεξεργασίας της αλληλεπίδρασης μεταξύ, για παράδειγμα, εγκεφάλου και συμπεριφοράς, καθώς και μπορούν ακόμη να αποκτούν και έναν αποτρεπτικό ρόλο ως προς την πρόληψη ασθενειών. Η κέντρωση της νευροεπιστήμης στην πληροφορία προσφέρει την παροχή πολλών πληροφοριακών συνόλων προκειμένου να δοκιμαστεί μια υπόθεση. (Bielza&Larranaga, 2020)

3.3.3 Συλλέγοντας δεδομένα

Η πραγματοποίηση εργαστηριακών πειραμάτων από διάφορους ερευνητές συνεπάγεται την καταγραφή διαφορετικών δεδομένων για διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου από ποικιλία ειδών που επιτελούν διαφορετικές ενέργειες προς παρακολούθηση. Η ευκολία της πρόσβασης θα προσέφερε την δυνατότητα σύγκρισης και σύγκλισης μεταξύ διαφόρων πειραμάτων. Έχει διερευνηθεί και αποδειχθεί από ομάδα επιστημόνων που ασχολούνταν με την εν λόγω θεματική πως έρευνες που παρείχαν πρόσβαση στα δεδομένα τους τείνουν να έχουν πολύ λιγότερα λάθη και προβλήματα σε σχέση με κλειστού τύπου, ενώ προσέφεραν πλειάδα στατιστικών και προσεγγίσεων με «machine learning» τεχνικές και μοντέλα. Ακόμη και η συλλογή δεδομένων από εργαστήρια μικρής κλίμακας ή ημερήσιας καταγραφής των δεδομένων φαίνεται να προσφέρει θετικά αποτελέσματα στα ερευνητικά πεδία με πολλά παραδείγματα να καταγράφονται και στην νευροεπιστήμη. Ορισμένα διακριτά θετικά χαρακτηριστικά είναι:

- Η διαφάνεια των αποτελεσμάτων, καθώς δίνεται πρόσβαση στα δεδομένα και μπορούν να αναπαραχθούν πολλές φορές,
- Η παροχή των δεδομένων ανεξάρτητα της χρονικής περιόδου δίνει την δυνατότητα για την επαναπροσέγγιση μέσω νεότερων τεχνολογικών μέσων.
- Η εφαρμογή διαφορετικής οπτικής από άλλες ερευνητικές ομάδες.

Σε αντίθεση με αυτές τις σκέψεις υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που συνηγορούν εναντίον της διάχυσης των δεδομένων. Ορισμένες από αυτές είναι :

- Ο ανταγωνισμός και η υστεροφημία της ανακάλυψης, καθώς και τα εύσημα της έρευνας.
- Θέματα που αφορούν την προστασία των προσωπικών δεδομένων των συμμετεχόντων, εάν πρόκειται για ανθρώπους.
- Δυσκολίες σύμπραξης δημοσίου και ιδιωτικού τομέα και τα θέματα που προκύπτουν από αυτό.

3.4 Στατιστικές μέθοδοι και machine learning

Αυτές οι δύο πρακτικές αποτελούν παράμετροι ανάλυσης και μετατροπής των δεδομένων σε φόρμες και μοντέλα από τα οποία εξάγονται οι προβλέψεις και οι πληροφορίες.

3.4.1 Στατιστική (Statistics)

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και της υπολογιστικής αναπόφευκτα οδήγησε στην μέθοδο της στατιστικής ανάλυσης δίνοντας μια σαφή κατεύθυνση στον τομέα της έρευνας σε ηλεκτρονικά δεδομένα. Ένα εξέχον παράδειγμα αποτελεί το NHST («null hypothesis significance testing») όπου, σε αντίθεση με την μέθοδο «data-driven» που αναλύθηκε νωρίτερα, αποτελεί προσέγγιση υπόθεσης (hypothesis-driven). Η χρήση αυτού προσφέρει λύσεις στις νευροεπιστήμες σε ζητήματα ιδιαίτερα μικρών δειγμάτων (pseudo-replication) που συναντώνται σε μη εξαρτημένες μεταβλητές. Ορισμένες αρχές και εγχειρίδια χρήσης έχουν εκδοθεί από επιστημονικά περιοδικά για την σωστή διαχείριση των δεδομένων μέσω στατιστικής. Έπειτα από κάποια χρόνια διαπιστώθηκε πως ορισμένες από τις ερευνητικές αναφορές που εκδίδονταν, είχαν ως μέθοδο την σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων. Σε αρκετές από αυτές τα δεδομένα παρουσιάζονταν με λανθασμένο τρόπο, σε σχέση με τα εγχειρίδια χρήσης. Αυτό το γεγονός συνεπάγεται και λανθασμένα αποτελέσματα και υπογραμμίζει το γεγονός πως η πρακτική αυτή πρέπει να αποτελεί πεδίο γνώσης και ενημέρωσης μεταξύ των επιστημόνων. Απαιτείται λοιπόν μια προεργασία και ένταξη σε κλασικές μεθόδους συλλογής δεδομένων και ανάλυσής τους προκειμένου να είναι ορθά και αποδεκτά τα αποτελέσματα. Κάθε μια από τις μεθόδους νευροαπεικόνισης που αναλύθηκαν νωρίτερα ή γενικότερα εγκεφαλικής απεικόνισης, παρουσιάζει τα δεδομένα με διαφορετικό τρόπο και κλίμακες, με βάση με το αντίστοιχο σετ στατιστικών και αναλυτικών περιορισμών και χαρακτηριστικών. (Bielza&Larranaga, 2020)

3.4.2 Machine Learning

Η μέθοδος αυτή αποτελεί υποκατηγορία της τεχνητής νοημοσύνης και της επιστήμης της υπολογιστικής. Πρόκειται για την εφαρμογή ειδικά διαμορφωμένων λογισμικών τα οποία έχουν την δυνατότητα να αποκτήσουν γνώσεις αυτόνομα. Οι πιο διαδεδομένες εφαρμογές για αυτή την διαδικασία μάθησης συναντώνται σε λειτουργίες προγραμμάτων που επιτελούν «data mining» ενισχύοντας τους αλγορίθμους. Οι πιο χαρακτηριστικές προσεγγίσεις είναι αυτές των τεχνητών νευρωνικών δικτύων και των αλγορίθμων γενετικής. (Hosch, 2012) Μέσω αυτών των εργαλείων έχει γίνει δυνατή η αποτύπωση αυτόματων μοντέλων με προσαρμοστικό τρόπο, η επιθυμητή μείωση του θορύβου και της ανακρίβειας στα συλλεχθέντα δεδομένα και η κλιμάκωση σε μεγάλα σύνολα δεδομένων. Η μηχανική μάθηση ενσωματώνει τα χαρακτηριστικά αυτά κατά την ανάπτυξη μοντέλων μέσω συγκεκριμένων διαδικασιών και παραμέτρων στην δομή τους. Είναι ουσιώδες για τα πεδία της νευροεπιστήμης να είναι σε θέση να παρουσιάσουν τεκμήρια και να αναπτύξουν μοντέλα τα οποία θα παράγουν μια ακριβή προσέγγιση σε θέματα πρόβλεψης και απόφασης. (Bielza&Larranaga, 2020)

Χαρακτηριστικές κατευθύνσεις είναι η εποπτευόμενη μάθηση (supervised learning) και η μη εποπτευόμενη (Unsupervised learning).

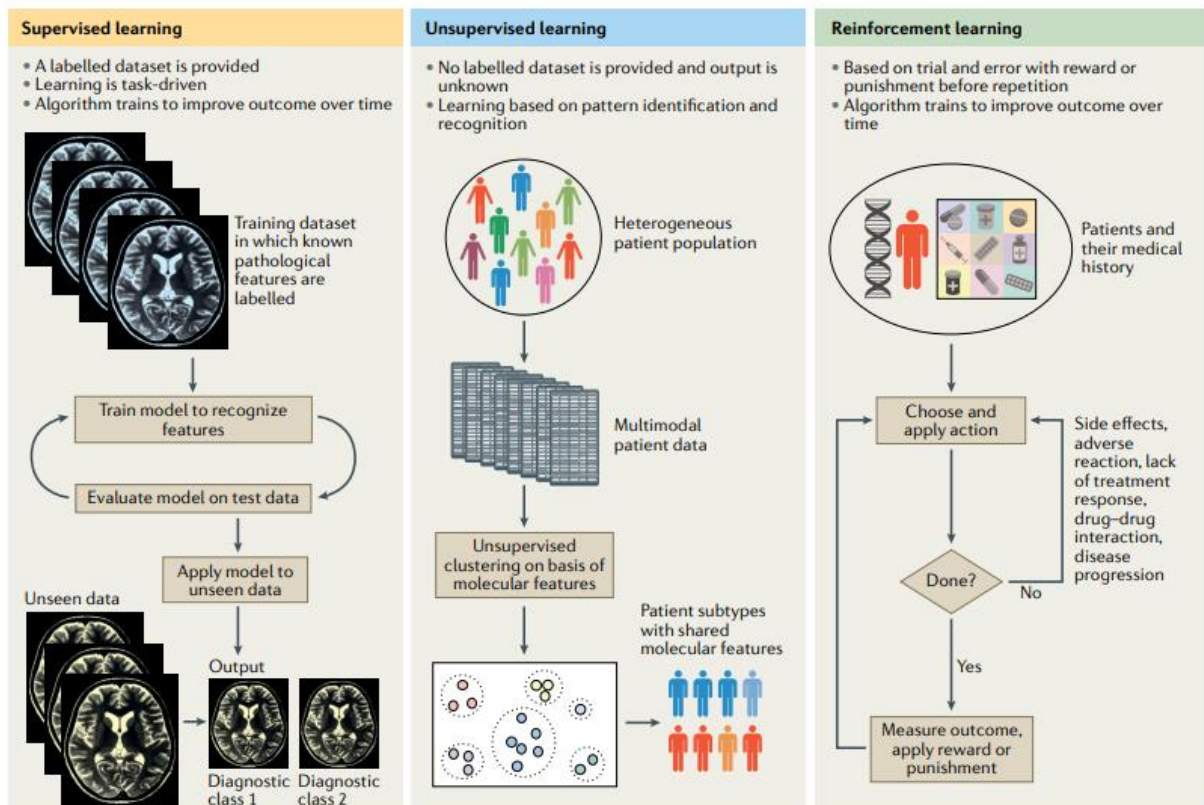
εποπτευόμενη μάθηση (supervised learning)

Κατά την διαδικασία αυτή δίνονται συγκεκριμένα παραδείγματα και με βάση αυτά το πρόγραμμα μετατρέπει τις εισόδους σε διαμορφωμένες εξόδους σύμφωνα με αυτά. Πρόκειται για «δεδομένα εκπαίδευσης» τα οποία αποτελούν αυτό το σύνολο δομημένων παραδειγμάτων τα οποία λειτουργούν ως βασικός οδηγός στην ανάλυση του αλγορίθμου προκειμένου αυτός να παράγει παρόμοια σχετικής λογικής καινούρια δεδομένα. (Stuart et al, 2010)

μη εποπτευόμενη (Unsupervised learning)

Αυτή η μέθοδος αποτελεί έναν αλγόριθμο ο οποίος καλείται να «μάθει» από δεδομένα τα οποία δεν εμπίπτουν σε κάποια κατηγοριοποίηση. Ο τρόπος που γίνεται αυτό είναι ουσιαστικά μέσω μίμησης και αναγκαιότητας της δημιουργίας συμπαγών δομών από τα μη επισημασμένα δεδομένα. Σε αντίθεση με την εποπτευόμενη μάθηση, η λειτουργία αυτή χαρακτηρίζεται από μια μορφή αυτοοργάνωσης του συστήματός της, προκειμένου να

«καταλάβει» και να εξάγει αποτελέσματα από τα σύνολα δεδομένων. (Bousquet, von Luxburg, & Raetsch, 2004) Τέλος, η μέθοδος αυτή μπορεί να είναι υποβοηθούμενη από τον αρχικό χαρακτηρισμό μερικών μόνο δεδομένων.



Εικόνα 20 Κατηγορίες μηχανικής μάθησης στην νευροεπιστήμη. Πηγή : (Myszczyńska et al, 2020)

Στην εικόνα διακρίνονται οι τρεις κατηγορίες που αναφέρθηκαν σε σχέση με την χρήση τους από νευροεπιστήμες σε επίπεδα διάγνωσης. Φαίνεται η παροχή δεδομένων η οποία οδηγεί στην αναγνώριση του μοτίβου που αποτελούσε υλικό μάθησης με συνέπεια να αναγνωρίζεται η ύπαρξή του στα καινούρια δεδομένα εισόδου και κατά αυτόν τον τρόπο να ταυτοποιείται μια ασθένεια που συνοδεύει αυτά τα μοτίβα. Στην περίπτωση της μη εποπτευόμενης, παρέχονται σύνολα ακαθόριστων δεδομένων μέσω των οποίων αναγνωρίζονται και στοιχειοθετούνται κάποια παρόμοια μοτίβα, ιδιαίτερα χρήσιμα για ανίχνευση μοριακών ιδιοτήτων ετερογενών ασθενών. Στην τρίτη, την ενισχυτική μέθοδο, ο αλγόριθμος εφοδιάζεται με την γνώση συγκεκριμένων δεδομένων μέσα από έναν μεγαλύτερο όγκο, προκειμένου να οδηγηθεί σε κόμβους αποφάσεων και μέσω δοκιμών «μαθαίνει». Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για θεματικές αυτοματισμού και ρομποτικής.

Στην διαδικασία επιλογής του καλύτερου τρόπου διαχείρισης των δεδομένων ανάλογα το ζήτημα που αντιμετωπίζεται, απαντά η παρακάτω εικόνα. Οι βασικές πληροφορίες των δεδομένων, δηλαδή αν πρόκειται για απεικόνιση ή για αριθμητικά δεδομένα, καθώς και ο όγκος αυτών, είναι ο πρώτος τρόπος διαλογής. Σε μικρότερους όγκους, απαιτείται ταξινόμηση, ενώ όσο αυξάνει η ποσότητα των δεδομένων δεν χρειάζεται. Σε σχέση με τον τύπο των δεδομένων, υπάρχουν προτεινόμενες μορφές μάθησης αναλογικά με το ζήτημα που διερευνάται. (Myszczyńska et al, 2020)

Οι (Myszczyńska et al, 2020) έχουν πραγματοποιήσει μια αναλυτική και κατατοπιστική κατηγοριοποίηση των πρακτικών αναλογικά με την εκάστοτε μελέτη και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Method	Supervised or unsupervised?	Classification, regression or clustering?	Definition	Examples of application
Deep neural networks	Supervised and unsupervised	Classification, regression and clustering	A category of algorithms that are composed of multiple layers of transformation and use artificial neural networks as each layer of processing	Disease diagnosis from neuroimages, speech recognition, natural language processing and pattern recognition ^{19,71}
Convolutional neural network	Supervised and unsupervised	Classification, regression and clustering	Form of a deep neural network designed to mimic neuronal connections and reduce dimensionality of the data	Image analysis and classification, video analysis, natural language processing and acoustic input ^{65,92,93,158}
Recurrent neural networks	Supervised and unsupervised	Classification, regression and clustering	A type of artificial neural network capable of forming internal memory, which makes it optimal for analyses of sequential data	Speech classification, handwriting classification and disease progression classification ^{92,140}
Network diffusion algorithm	Unsupervised	NA	A class of methods that model the spread of information through networks	Gene regulator analysis and network inference for gene prioritization ¹⁴⁹
Random forest	Primarily supervised	Primarily classification and regression	An algorithm that averages a large number of weak classifiers (trees) to form a strong classifier using random subsets of data	Disease progress prediction ³²
Support vector machines	Primarily supervised	Classification, regression and clustering	A method of separating distinct classes within a dataset by applying an optimal hyperplane	Disease classification ^{54,58–60,82,210}

NA, not applicable.

Εικόνα 21 Περιγραφή των μεθόδων και παραδείγματα εφαρμογών. Πηγή : (Myszczyńska et al, 2020)

3.4.3 Συγκρίνοντας τις δύο αυτές μεθόδους

Η βασικότερη ανάγκη που προκύπτει κατά την διαχείριση της πληροφορίας πρέπει να ικανοποιείται με την επιλεγόμενη μέθοδο η οποία θα παρέχει:

- Πρόβλεψη (έπειτα από μια σειρά δεδομένων να παραχθεί μια λογική συνέχεια)
- Ομαδοποίηση (η συγχώνευση δηλαδή παρόμοιων χαρακτηριστικών σε ομάδες)
- Συσχετισμοί (η αναπαράσταση του τρόπου που σχετίζονται μεταξύ τους οι μεταβλητές)
- Χωρικές στατιστικές (η ανάλυση των απεικονίσεων και δημιουργία διαγραμμάτων).

Η στατιστική και η μηχανική μάθηση συχνά αντιμετωπίζονται ως δύο διαφορετικές και ακόμη ανταγωνιστικές μεθόδους για τον τρόπο διαχείρισης των δεδομένων. Στην πραγματικότητα όμως θα μπορούσαν να αποτελέσουν ακόμη και βοηθητικές - η μια στην άλλη - μεθόδους, καθώς η υπολογιστική τους ισχύ είναι εξαιρετικά σημαντική και πολλές φορές το machine learning ενσωματώνει στατιστικές μεθόδους στους αλγόριθμούς του. Σε αυτή την νοοτροπία πρέπει να αναπτύσσονται τα πεδία της μοντελοποίησης, καθώς αυτές οι τεχνικές αποτελούν εξαιρετική χρησιμότητα για τα πεδία της νευροεπιστήμης και ζητήματα, όπως αυτό του μονού νευρώνα, που θα εξεταστούν και στην συνέχεια. (Bielza&Larranaga, 2020)

3.5 Μελλοντικές κατευθύνσεις και εξεταζόμενες θεωρήσεις

3.5.1 Διαφορετικές οπτικές που συνεισφέρουν στην εξέλιξη του κλάδου

Η εξέλιξη της γνωσιακής νευροεπιστήμης συναντά ταχύτατους ρυθμούς τον τελευταίο αιώνα. Μερικώς αυτό οφείλεται και στις συνεχώς αναπτυσσόμενες μεθόδους διερεύνησης, καθώς πλέον έχει ενσωματώσει σημεία και μεθόδους από διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους. Παράδειγμα, η ρομποτική, η τεχνητή νοημοσύνη, την μοντελοποίηση των νευρωνικών δικτύων κ.α., τα οποία έχουν πλέον αποκρυσταλλωθεί σε σύνολα υποθέσεων, τα οποία πάραυτα αποτελούν την κύρια υπολογιστική οπτική γωνία στην θεματική της γνωσιακής. Κατά την αρχή των προσεγγίσεων, κανείς συναντούσε πληθώρα μεθόδων και ιδεολογικών προσεγγίσεων που αποτελούσαν εναλλακτικές στο τυπικά υπάρχον μοντέλο. Ορισμένες από αυτές τις προοπτικές θεωρούν πως η βέλτιστη προσέγγιση είναι η ολιστική, καθώς επίσης ότι οι διεργασίες αυτές είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με το περιβάλλον και τις σωματικές διαδικασίες που συμβαίνουν. Πιο συγκεκριμένα παραδείγματα αυτών αποτελούν : η γνωσιακή οικολογία (με την γνωσιακή λειτουργία, την οικολογία και την νευροβιολογία ως κεντρικά σημεία μελέτης, καθώς υποστηρίζεται πως η εξελικτική διαδικασία και η τάση προσαρμογής σε ένα περιβάλλον προς επιβίωση είναι αλληλένδετα στοιχεία), η ενεργοποίηση (κατά την οποία θεωρία ο εγκέφαλος δεν είναι παθητικός αποδέκτης ερεθισμάτων, μα ενεργά μέσω πράξεων σχηματίζει την γνωσιακή ικανότητα), η ενσωματωμένη γνώση (όπου έχει ως

κεντρικό σημείο μελέτης την οπτική πως ο κόσμος, ο εγκέφαλος και το σώμα είναι στοιχεία ενωμένα σε μια κυκλική αιτιότητα με ιδιαίτερη υπολογιστική ικανότητα., η Νευροφαινομενολογία, κατά την οποία υπογραμμίζεται η έννοια του βιώματος σχετικά με την αντίληψη, καθώς δίνει μεγάλη προσοχή στην εμπειρία και πως αυτή λειτουργεί γνωσιακά.

Η λογική πίσω από την μελέτη των παραγόντων όπως το περιβάλλον και ο τόπος σχετικά με γνωσιακές λειτουργίες της σκέψης και του συνειδητού βασίζεται στο γεγονός πως κάθε σκέψη αποτελεί σωματική διεργασία. Διάφορες αναλύσεις έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό την ενσωμάτωση αυτών των θεωριών στην τυπική «γραμμή» της γνωσιακής νευροεπιστήμης. (Louis N. Irwin, 2020)

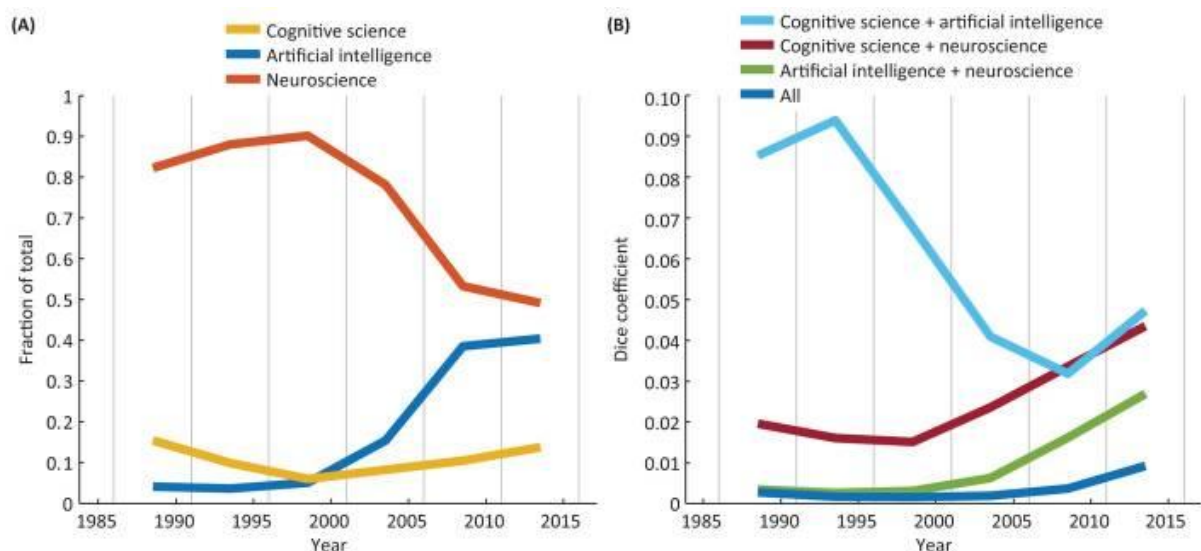
3.5.2 Η γεφύρωση μεταξύ επιστημών

Τα μοντέλα που αναπτύσσονται προς την γεφύρωση των επιστημονικών πεδίων με σκοπό την κατανόηση του εγκεφάλου και συμπεριφοράς, έχουν περίπλοκες παραμέτρους. Η δημιουργία και διαχείριση αυτών των μοντέλων προϋποθέτει μηχανική μάθηση και συλλογές δεδομένων. Αυτό το έργο μπορεί να ενσαρκώνεται σε κάθε ερευνητικό εργαστήριο ξεχωριστά, μα για την βέλτιστη εκμετάλλευση του ενδείκνυται ο διαμοιρασμός των συλλεχθέντων δεδομένων και πληροφοριών. Κατ' αυτό τον τρόπο, έχει δημιουργηθεί μια μορφή συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών παραγόντων με σκοπό την συνένωση τριών κλάδων, της γνωσιακής επιστήμης, της τεχνητής νοημοσύνης και της υπολογιστικής νευροεπιστήμης. Τέτοιες συνενωτικές διαδικασίες επιδιώκονται πολύ συχνά μεταξύ της επιστημονικής κοινότητας, παράδειγμα όπως το συνέδριο CNN που παρουσιάζεται παρακάτω, καθώς φαίνεται να μην έχει επιτευχθεί η βέλτιστη συνεργασία.

Τα σημεία συνεργασίας προβλέπονται στα ερευνητικά εργαλεία, τα δεδομένα, τα μοντέλα και τις δοκιμές. Τα ερευνητικά εργαλεία είναι πειραματικά σχέδια όπως γνωσιακά συστατικά τα οποία μπορούν να εξεταστούν ποσοτικά. Συγκεκριμένα, πρόκειται για κατάλληλα σχεδιασμένο και ελεγχόμενο περιβάλλον δοκιμών για να αποκτηθούν γνωσιακού επιπέδου πληροφορίες (π.χ. οπτικά ερεθίσματα). Σκοπός αυτού αποτελεί η απόκτηση δεδομένων προς κατασκευή μοντέλων ΑΙ από καλά καθορισμένες και διαμορφωμένες πηγές πληροφοριών που ποσοτικοποιούν την απόδοση, έχοντας σημεία αναφοράς προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ μοντέλων. Τα δεδομένα είναι τα στοιχεία της απόδοσης που προκύπτουν από τις ελεγχόμενες διαδικασίες αναφορικά με την απόδοση, την επιτυχία ή αποτυχία, την κίνηση και τον χρόνο απόκρισης. Οι μετρήσεις του εγκεφάλου ως πληροφορίες

αντιστοιχούν στην υπολογιστική ικανότητα, ενώ οι ανατομικές μετρήσεις αντιστοιχούν στα δομικά χαρακτηριστικά και την συνδεσιμότητα στοιχείων του εγκεφάλου κατά τις γνωσιακές λειτουργίες. Τα μοντέλα είναι ικανά να λάβουν αισθητηριακές καταχωρήσεις και στην συνέχεια να παράξουν κινητικά αποτελέσματα. Τα βιολογικά πιθανά μοντέλα μπορούν να διαμοιραστούν και αυτά, προκειμένου να διεξαχθούν δοκιμές απόδοσης και ακρίβειας. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητες οι διεξαγωγές δοκιμών μεταξύ μοντέλων για την διερεύνηση της ικανότητας και βέλτιστης προσέγγισης για την εξαγωγή πληροφοριών της επεξεργασίας κατά την διάρκεια διαφόρων πειραματικών δοκιμών. Τα εμπόδια που συναντώνται σε αυτό τον δρόμο πρέπει να διευκρινιστούν και να ξεπεραστούν. Ωστόσο, πρέπει εξίσου να διευκρινιστεί το επίπεδο των δυνατοτήτων που διατίθενται, προκειμένου να εντοπιστεί το επίπεδο που βρισκόμαστε προς την κατανόηση των εγκεφαλικών και γνωσιακών λειτουργιών, κάτι που αποτελεί γενική και σπουδαία αρχή της νευροεπιστήμης, καθώς δεν αναλύεται απλώς με πλειάδες στατιστικών αναφορών. (Kriegeskorte & Douglas, 2018)

Στην προσπάθεια γεφύρωσης της γνωσιακής επιστήμης, της νευροεπιστήμης και της τεχνητής νοημοσύνης πλαισιώθηκε ένα επιστημονικό εγχείρημα, το CNN (Cognitive Computational Neuroscience), το έτος 2017. Ο λόγος της ανάγκης για σύγκληση ήταν πως κάθε μια από αυτές τις επιστήμες προχωρούσε ξεχωριστά και πολλές φορές αποκομμένα η μία από την άλλη, παρά το γεγονός πως η διατήρηση πυρηνικών αρχών για την απόκτηση της γνώσης των γνωσιακών λειτουργιών με βάση της βιολογικές διεργασίες απαιτεί την γεφύρωσή τους, παρά την δημιουργία διαφορετικής γλώσσας, πρακτικών και κατευθύνσεων. Το εγχείρημα αυτό πλαισιώθηκε σε συνεδρίες τριών ημερών με την αλληλεπίδραση 600 επιστημόνων διαφόρων βαθμίδων. Η νευροεπιστήμη ως ερευνητικό πεδίο αποτελούσε ως και το 2015 το σημείο μεγαλύτερης απήχησης μεταξύ των τριών αυτών κλάδων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η απήχηση με τους συνδυασμούς αυτών, με βάση τις επιστημονικές μελέτες που έχουν εκδοθεί κατά καιρούς. Η χαμηλή δραστηριότητα φανερώνει την ανάγκη για δράσεις και διαδικασίες, όπως αυτή του CNN.



Εικόνα 22 Γραφική αναπαράσταση της ενασχόλησης ανά επιστημονικό κλάδο (Α) και συνδυαστικά (Β). Πηγή: (Naselaris et al, 2018)

Ορισμένα από τα σημαντικότερα εμπόδια προς μια σύγκλιση των επιστημών αυτών συνοψίστηκαν στο εν λόγω συνέδριο. Φαίνεται πως σε αρκετές περιπτώσεις οι ερευνητές απέφευγαν να επιλέγουν ορισμένα γνωσιακής θεματικής ζητήματα προς μελέτη, καθώς είναι αρκετά εύκολα, με την έννοια πως επιλύονται με την χρήση απλοϊκών αλγοριθμικών διαδικασιών. Ένα επίσης ζήτημα είναι πως τα διαθέσιμα υπολογιστικά συστήματα σε αρκετές περιπτώσεις δεν καταφέρνουν να προσεγγίσουν την υπολογιστική ισχύ του εγκεφάλου, κάτι που αποτελούσε φραγμό στην ελευθερία επιλογής θέματος προς μελέτη. Τέλος, τα σχεδιασμένα συστήματα έχουν ως επίκεντρο ένα θέμα, μια διαδικασία που μπορούν να διατελέσουν. Ωστόσο, αποτελεί έκπληξη το γεγονός πως είναι ικανά να αποδώσουν τις βασικές αρχές της νοημοσύνης. Προκειμένου να ξεπεραστεί το πρόβλημα της έλλειψης πάνω από μιας λειτουργίας, προτάθηκε η χρήση video games, καθότι έτσι πραγματοποιούνται πολλαπλές διαφορετικές διεργασίες.

Ένα βασικό στοιχείο που διερευνήθηκε ως μια άμεση μελλοντική κάλυψη, ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου το οποίο θα διέθετε διαισθητικές ή βαθύτερες ικανότητες. Συγκεκριμένα, για τους ζώντες οργανισμούς είναι ευκολότερο να καταλάβουν πότε ένα αντικείμενο πρόκειται να πέσει, ή να καταλάβουν περίπου τα συναισθήματα που λαμβάνουν από κάποιο άλλο οργανισμό. Το μοντέλο αυτό θα είναι ικανό να προχωρήσει σε βάθος την σκέψη, προκειμένου να κάνει λογικές προβλέψεις για τις συνέπειες μιας πράξης, ή την αποτίμηση αισθητηριακών πληροφοριών. Σε αυτή την πρόκληση ορισμένοι απάντησαν με την χρήση πιθανολογικών γλωσσών προγραμματισμού και άλλοι με την διαδικασία deep learning

για την οικοδόμηση νευροδικτύων. Ως εκ τούτου, έχει τεθεί ως ένας από τους βασικότερους στόχους της επιστημονικής κοινότητας. Ωστόσο, αυτά τα δύο μοντέλα παρουσιάζουν την εξής αδυναμία. Ενώ είναι βιολογικά πραγματοποιήσιμα, δεν διαθέτουν ισχυρές βιολογικές παραπομπές και βάσεις. Παράδειγμα, ένα τέτοιο ζήτημα είναι η αναντιστοιχία της ενέργειας που απαιτείται για την διεξαγωγή μιας διεργασίας σε σχέση με ένα ΑΙ. Ακόμη, δεν είναι ξεκάθαρο το «πόση βιολογία χρειάζεται».

Δράσεις όπως το συνέδριο CNN είναι μια εμφανής προσπάθεια για την ομαλή σύνδεση πεδίων. Θα χρειαστεί χρόνος και θέληση σύγκλισης προκειμένου να δομηθεί μια κοινή σημασιολογική συνοχή, εργαλεία, τεχνικές και πλαίσια. (Naselaris et al, 2018)

ΕΝΟΤΗΤΑ 4 – Υπολογιστική στην Γνωσιακή Νευροεπιστήμη

4.1 Ανάπτυξη διαφόρων μοντέλων

Η επιτυχία της διασταύρωσης των μαθηματικών και της γνωσιακής νευροεπιστήμης οδήγησε στην μοντελοποίηση με σκοπό την διερεύνηση υποθέσεων σχετικών με γνωσιακούς μηχανισμούς. Το μέσο είναι η υπολογιστική, κατά την οποία πραγματοποιούνται προβλέψεις για την αντίληψη, την μάθηση, την μνήμη και την λήψη αποφάσεων. Ο απώτερος σκοπός αποτελεί ο εντοπισμός και η διευκρίνιση των νευρικών μηχανισμών, οι οποίοι σχετίζονται με τις γνωσιακές διεργασίες μέσω τεχνικών όπως η νευροφυσιολογία, η ηλεκτροφυσιολογία και η απεικόνιση του εγκεφάλου. Τα μοντέλα αυτά αποσυνθέτουν πολυσύνθετες καταστάσεις, εξηγώντας την απόκριση του εγκεφάλου υπό πειραματικές συνθήκες.

Μια από τις κλασικές διερευνήσεις που έχουν διατυπωθεί, είναι αυτή των τριών επιπέδων του Marr. Ο Marr διαχώρισε τα τρία πεδία ως εξής:

- Το υπολογιστικό επίπεδο, κατά το οποίο εστιάζεται στην δομή και το περιβάλλον ενός οργανισμού.
- Το αλγοριθμικό επίπεδο, κατά το οποίο εστιάζεται στις διεργασίες που αποτελούν την βάση των γνωσιακών λειτουργιών, χωρίς να συμπεριλαμβάνει την βιολογική πραγμάτωση. Χαρακτηρίζεται από υπολογιστικά μοντέλα και μαθηματικά

- Το επίπεδο υλοποίησης, στο οποίο εστιάζεται στο πως εν τέλει πραγματοποιούνται γνωσιακοί μηχανισμοί εντός φυσικού και βιολογικού πλαισίου, με τους νευρώνες και τις συνάψεις τους.

Πολλές φορές οι ερευνητές έκαναν μεμονωμένες προσεγγίσεις, κάτι που τελικά εμπίπτει σε λάθος πρακτική, εξού και η ανάγκη γεφύρωσης των τριών διαφορετικών πεδίων, όπως αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η διερεύνηση μέσω μοντέλων θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς έτσι περιγράφονται οι εγκεφαλικές διεργασίες και η δυναμική υπολογιστική ικανότητα του εγκεφάλου.

Η πιο ισχυρή ώθηση για την άνθηση της πρακτικής ανάλυσης μέσω χρήσης μοντέλων αποτελεί η αποδεδειγμένη επιτυχία να παρουσιαστεί μια νέα οπτική σε γνωσιακό και νευρολογικό επίπεδο. Ιδιαίτερη προσοχή έχει εστιαστεί σε μοντέλα συσσωρευτές λήψης αποφάσεων, καθώς αυτά υποθέτουν ότι η μεταβλητότητα στην πιθανότητα επιλογής και στον χρόνο απόκρισης είναι απόρροια της μεταβλητότητας συσσώρευση τεκμηρίων στα σημεία της απόκρισης. Τα παρόμοια με αυτά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί, έχουν συσχετιστεί με αποφάσεις αντίληψης, κατηγοριοποίησης, μνήμης και λοιπά. Ένα από τα πρώτα παραδείγματα αποτελεί αυτό των Hanes και Schall το 1996, των οποίων το ενδιαφέρον ήταν η κατανόηση του πού και του πότε παρατηρείται συγκεκριμένη κίνηση στους νευρώνες του μετωπιαίου οφθαλμικού πεδίου. Η μοντελοποίηση κατά την διαδικασία αυτή, βοήθησε στην περιγραφή των διαφόρων υπολογισμών σε διεργασίες που εμπλέκονταν οι εν λόγω νευρώνες. Επιπλέον, στα συμπεράσματα συγκρίθηκαν δύο μηχανιστικές ανταγωνιστικές θεωρίες, οι οποίες θα ήταν δύσκολο να συγκριθούν με βάση δεδομένα συμπεριφοράς ως μοναδικό εργαλείο. Προσπερνώντας την αμιγώς μαθηματική ψυχολογία, τα μοντέλα στράφηκαν σε δύο πτυχές. Αρχικά, επέτρεπαν τον περιορισμό των στοιχείων του μοντέλου βάση φυσιολογικών χαρακτηριστικών, ενώ επίσης βρέθηκαν αντιμέτωπα με εναλλακτικές αρχιτεκτονικές.

Μια διαφορετική προσέγγιση έναντι των θεωρητικών μοντέλων, στα οποία μπορεί να προκύψει αδιέξοδος, είναι η αντιμετώπιση των δεδομένων των νευρώνων ως συμπληρωματικές πληροφορίες κατά τις οποίες οι μηχανισμοί ποικίλουν, σε περιπτώσεις λανθάνοντος μοντέλου. Ουσιαστικά, μοναδικά δίκτυα εγκεφαλικής δραστηριότητας θα προκύψουν από την διαδικασία διαχωρισμού νευρωνικών δεδομένων με βάση τα δεδομένα συμπεριφοράς. Συγκεκριμένα, ένα δίκτυο «off-task» δίνει επίδοση κακής συμπεριφοράς, ενώ ένα δίκτυο «on-task» δίνει επίδοση καλής συμπεριφοράς. Αυτές οι παρατηρήσεις οδήγησαν την δημιουργία μοντέλων που συνδυάζει ορισμένα στοιχεία για την αναζήτηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων σχετικά με

την νευροφυσιολογία. Σκοπός ήταν η εκμετάλλευση από τις θεωρούμενες λανθασμένες παραμέτρους ενός τυπικού μοντέλου διάχυσης, σε πληροφορίες σχετικές με την διακύμανση. Όταν το μοντέλο προσαρμόστηκε καταλλήλως, ήταν σε θέση να δείξει πως τα ανόμοια δίκτυα της δραστηριότητας του εγκεφάλου συσχετίζονται με μηχανισμούς όπως η μεροληψία και ο ρυθμός που τα στοιχεία συσσωρεύονται. Επιπλέον, φάνηκε πως υπάρχει μια νέα προοπτική σε νευρωνικά και συμπεριφορικά δεδομένα καθώς επίσης και το γεγονός πως υπερέχει έναντι μοντέλων που χρησιμοποιούν μόνο συμπεριφορικά δεδομένα.

4.1.2 Successor representations

Η SR αποτελεί μια μέθοδο η οποία εφαρμόζεται όλο και περισσότερο σε τεχνικές deep learning, στην ψυχολογία αλλά και της νευροεπιστήμη. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι «μαθαίνουν» απευθείας από σήματα επιβράβευσης. Ένας εναλλακτικός τρόπος είναι μέσω SR, κατά τον οποίο ο αλγόριθμος «μαθαίνει» μέσω ενός δυναμικού περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι παρέχεται ένα περιβάλλον που διαθέτει ένα μέσο επιβράβευσης σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Μπορεί να αναπτυχθεί πρόγραμμα κατά το οποίο μαθαίνει να βρίσκει αυτό το σημείο επιβράβευσης. Σε περίπτωση αλλαγής του περιβάλλοντος, άρα και μετακίνησης του σημείου επιβράβευσης, θα πρέπει να αναπτυχθεί από την αρχή ο αλγόριθμος και να «μάθει» πάλι πως θα συναντήσει αυτό το σημείο. Εάν αντ' αυτού ο αλγόριθμος είχε ως αρχικές εισαγωγές την εξίσωση του σημείου και του SR, έπειτα από αλλαγή του περιβάλλοντος, θα χρειαζόταν μόνο να μεταβληθεί η αρχική εξίσωση προς το σημείο επιβράβευσης. Πρακτικά το SR είναι η αναπαράσταση των διαφορετικών σημείων επιβράβευσης, οπότε κάθε κατάσταση αντιπροσωπεύει ουσιαστικά κάθε μελλοντική κατάσταση. Με άλλα λόγια, είναι το αποτέλεσμα της εγγενούς μετάβασης του ίδιου του περιβάλλοντος, ως το αποτέλεσμα της κάθε πράξης στο κάθε μοτίβο, καθώς και την πορεία που ακολουθείται κάθε φορά, ως το αποτέλεσμα της επιλογής πράξης του αλγορίθμου. Το πλεονέκτημα που προσφέρει αυτή η μέθοδος είναι πως ο αλγόριθμος, αντί να χρειαστεί να «μάθει» μια εξίσωση η οποία θα πρέπει να αλλάζει ανάλογα με το αν μεταβάλλεται το περιβάλλον παρατήρησης, θα «γνωρίζει» κάθε πιθανή εισαγωγή, πάλι αναλόγως με την μεταβλητότητα του περιβάλλοντος. (Juliani, 2019)

Στο ερώτημα του πως οργανώνονται οι σκέψεις στον εγκέφαλο, έρχονται να απαντήσουν οι (Stoewer et al., 2022) με μια εξερευνητική πρόταση. Το σύμπλεγμα hippocampal-entorhinal επιτρέπει τον σχεδιασμό γνωσιακών χαρτών καθώς και την πλοήγηση πάνω σε αυτούς, κάτι που αποτελεί ιδιαίτερα βοηθητικό εργαλείο στην γνωσιακή επιστήμη.

Στο εγχείρημα αυτό βοηθούν οι SR, οι οποίοι σύμφωνα με τους ερευνητές, φαίνεται να εξηγούν επαρκώς τους επιμέρους υπολογισμούς ορισμένων κυτταρικών μηχανισμών. Τα κύτταρα αυτά που αναφέρονται και απασχολούν την δεδομένη θεματική είναι τα place και grid cells. Τα χωρικά κύτταρα πυροδοτούν το αν ο οργανισμός αυτός καταλαμβάνει μια συγκεκριμένη θέση στον χώρο, ενώ τα πλεγματικά κύτταρα δημιουργούν τους νοητούς χάρτες του περιβάλλοντος που βρίσκεται, πλοηγώντας το. Όλα αυτά τα στοιχεία έχουν παρατηρηθεί λόγω της αναζήτησης του πώς ο εγκέφαλός μας (και ποια σημεία του) αντιλαμβάνεται την αίσθηση του χώρου και του τόπου που λαμβάνει το όν. Πράγματι, τα σημεία που αναφέρθηκαν και οι διαφορετικοί τύποι νευρώνων εμπλέκονται στην διαδικασία αυτή. (Weber & Sprekeler, 2018) Εν συνεχεία της παρουσίασης της έρευνας των (Stoewer et al., 2022), παρουσιάζεται μια προσέγγιση από νευρολογική σκοπιά με βάση διαφορετικά μοτίβα: μια χωρική εργασία μέσω εποπτευόμενης μάθησης, μια χωρική εργασία μέσω ενισχυμένης μάθησης και μια εργασία που εμπλέκονται γλωσσικοί μηχανισμοί. Μέσω ηλεκτροφυσιολογικές έρευνες, δηλαδή μελέτη απεικονίσεων fMRI κ.λπ., έχει φανεί πώς ο ιππόκαμπος και ο ενδορρινικός φλοιός αποτελούν την βασική μονάδα των γνωσιακών χαρτών, μέσω ειδικευμένων κυττάρων, σε λειτουργίες όπως την χωρική απεικόνιση και πλοήγηση, καθώς και την δημιουργία διαδρομών, παρακάμψεων και λοιπά.

Η μέθοδος που επιλέχθηκε για κάθε παράμετρο διερευνήθηκε εκτενώς και οι απαιτούμενοι κώδικες των μοντέλων αναπτύχθηκαν στην γλώσσα Python. Συγκεκριμένα, το μοντέλο που αναπτύχθηκε σύμφωνα με το SR, το οποίο μπορεί να μοντελοποιήσει τα μοτίβα του χώρου στον ιππόκαμπο. Η εργασία της χωρικής εξερεύνησης ήταν σε ένα χωρικό περιβάλλον που δημιουργήθηκε και σχεδιάστηκε υπό συγκεκριμένο πλαίσιο, ως ένα διακριτό πλέγμα προς εξερεύνηση. Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός του νευρικού δικτύου αποτελούσαν από διαφορετικά επίπεδα ώστε το SR να λειτουργήσει μαθαίνοντας τις μεταβάσεις από διαφορετικά πιθανά περιβάλλοντα. Στην περίπτωση της εποπτευόμενης μάθησης, στην απόπειρα να αναπαραχθούν τα δεδομένα, έγινε χρήση συστήματος λαβυρίνθου, κατά τον οποίο επιτρεπτές προς παρατήρηση ήταν ορισμένες από τις καταστάσεις και όχι όλες. Επιπλέον, σχεδιάστηκε σύστημα επιβράβευσης, όπως προβλέπεται στα SR συστήματα. Στην γλωσσική δομή (linguistic) δημιουργήθηκε ένα περιβάλλον με διακριτές καταστάσεις όπου κάθε μια αναπαριστούσε σημεία του λεξιλογίου. Το δίκτυο είναι ικανό, έπειτα από την διαδικασία εκπαίδευσης, να προβλέψει όλες τις πιθανές διαδοχικές καταστάσεις, από κάθε αρχική δοθείσα κατάσταση. Το επόμενο βήμα είναι η διασύνδεση των καταστάσεων που οδηγούν στο πλέγμα μεταβατικών πιθανοτήτων, το οποίο υπολογίζεται από το πλέγμα των SR. Στην εποπτευόμενη

μάθηση τα ληφθέντα δεδομένα ήταν σε μορφή διανύσματος, σε αντίθεση με την ενισχυμένη μάθηση που αποδίδει πιθανότητες μόνο για τις διαδοχικές κινήσεις της δοθείσας κατάστασης, κάτι που χρειάζεται διεύρυνση σε διανύσματα που περιέχονται όλες οι πιθανές καταστάσεις.

Τα κυριότερα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή την εξαιρετικά ενδιαφέρουσα έρευνα, παρουσιάζονται στην παρούσα παράγραφο.

Η εποπτευόμενη μάθηση είχε ως αντικείμενο την αναπαραγωγή μοτίβων των κυττάρων. Σε αυτή την περίπτωση, οι πιθανότητες μετάβασης «μαθαίνονται» με την τυχαία παρατήρηση καταστάσεων προκειμένου να εξερευνηθούν οι πιθανές ακολουθίες, εντός του θεωρητικού μεγίστου. Τα αποτελέσματα ήταν σχεδόν ταυτόσημα με τα πραγματικά, αντικατοπτρίζοντας την δομή του περιβάλλοντος αναλογικά τα χαρακτηριστικά του. Από ερευνητές έχει προταθεί μια ερμηνεία για τα κύτταρα των πλεγμάτων του ενδορινικού φλοιού, τα οποία ενδεχομένως να εξηγούνται από την διάσπαση των SR, καθώς τα μεμονωμένα κύτταρα αντιστοιχούν στο αντίστοιχο ιδιοδιάνυσμα. Προκειμένου να δοκιμαστεί η θεωρία αυτή, μετρήθηκαν τα ιδιοδιανύσματα των SR. Όπως είναι γνωστό από την νευροβιολογία τα συγκεκριμένα κύτταρα ποικίλουν σε μέγεθος και προσδιορισμό. Συγκεκριμένα, όσο μικρότερες είναι οι ιδιοτιμές τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος του πλέγματος. Στην ενισχυτική μάθηση, σε αντίθεση με την περίπτωση της ελεύθερης εξερεύνησης του περιβάλλοντος, η διαδικασία της πλοήγησης απαιτεί πιο συγκεκριμένους στόχους ή επιβράβευση. Στην δεδομένη προσομοίωση, αναπαράχθηκε ένα κλασικό πείραμα τρωκτικών σε λαβύρινθο, ενώ η διαδικασία ενισχυμένης μάθησης «έμαθε» τα αντίστοιχα SR, τα οποία ήταν εξίσου πολύ κοντά στην πραγματικότητα. Στην περίπτωση του γλωσσικού πειράματος, δημιουργήθηκαν εξίσου γνωσιακοί χάρτες, καθώς αυτοί μπορούν να προσαρμοστούν και σε άλλες περιπτώσεις, χωρίς να περιορίζονται στον φυσικό χώρο. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί το γλωσσικό δίκτυο, καθώς οι εγκεφαλικές διαδικασίες αναπαριστώνται εξ ορισμού με αυτό τον τρόπο. Ωστόσο, κλίμακες από SR αποτελούν το κατάλληλο θεωρητικό πλαίσιο για να εξηγηθούν αυτές οι λειτουργίες.

Από τα παραπάνω δεδομένα φαίνεται πως τα διαθέσιμα εργαλεία εξερεύνησης γνωσιακών λειτουργιών μπορούν να εξελιχθούν και να προσαρμοστούν ανάλογα με τις απαιτήσεις και σε διαφορετικές διαδικασίες οι οποίες είναι ίδιας λογικής τεχνικά, πέραν από την αρχικά χρησιμοποιούμενη. Η έρευνα των (Stoewer et al., 2022) παράδειγμα, προσεγγίζει ένα μοντέλο νευρωνικού δικτύου το οποίο μπορεί να «μάθει» την υποκειμενική δομή μιας απλοποιημένης γλώσσας και εικάζεται πως με παρόμοιο τρόπο λειτουργούν και

κωδικοποιούνται τα γλωσσικά συμπλέγματα στον εγκέφαλο. Επιπλέον, η εκμάθηση άλλων γλωσσών με παρόμοια δομή είναι μια ευκολότερη διαδικασία, καθώς ήδη έχουν δημιουργηθεί οι γνωσιακοί χάρτες στον ιππόκαμπο.

4.2 Η έρευνα του Fitch

Η έρευνα του W. Tecumseh Fitch με τίτλο «Toward a computational framework for cognitive biology: Unifying approaches from cognitive neuroscience and comparative cognition» που πραγματοποιήθηκε το 2014, αποτελεί πολύτιμο λίθο σε επίπεδο διεπιστημονικότητας και ευρύτερης κατανόησης των θεματικών που αναπτύχθηκαν πρωτύτερα. Παρουσιάζοντας την συνοπτικά, φαίνεται να αποτελεί ένα σημείο σύγκλισης της υπολογιστικής βιολογίας και της γνωσιακής νευροεπιστήμης. Η πρόοδος της δεύτερης απαιτεί ένα πλαίσιο τόσο θεωρητικό όσο και ποσοτικό, βασισμένο από άλλες φυσικές επιστήμες με σκοπό να δημιουργηθούν σχέσεις αλγοριθμικού και υπολογιστικού επιπέδου επεξήγησης.

Η σπουδαιότητα των τυποποιημένων διαδικασιών και των μαθηματικών μοντέλων έναντι διαισθητικών αντιλήψεων αποτελεί ενδεικτικό στοιχείο της σοβαρότητας μιας επιστήμης, καθιστώντας την ως ώριμη. Ο κλάδος της γνωσιακής επιστήμης συστήνεται να ακολουθήσει μια παρόμοια εννοιολογική μετάβαση και την αναγνώριση των ποσοτικών μοντέλων προσέγγισης μιας υπόθεσης ώστε οι τεκμηριώσεις να ακολουθήσουν τις βέλτιστες πρακτικές, παρά μεταφορικές ή διαισθητικές.

4.2.2 μεταφορικά μοντέλα έναντι υπολογιστικών στις γνωσιακές επιστήμες

Ο Fitch φανερά υποστηρίζει την θεώρηση πως οι γνωσιακές επιστήμες πρέπει να υποδεχτούν στις πρακτικές τους και να αγκαλιάσουν την ιδέα των υπολογιστικών μοντέλων. Οι οπτικές του υποστηρίζουν το πλαίσιο κυτταρικής, υπολογιστικής και προγνωστικής προοπτικής με μια βιολογική βάση, συγκρίνοντας τις διαφορές και ομοιότητες ως πηγές διεξαγωγής συμπερασμάτων. Ο τρόπος επίτευξης αυτού του εγχειρήματος προϋποθέτει το συνταίριασμα τριών παραγόντων,

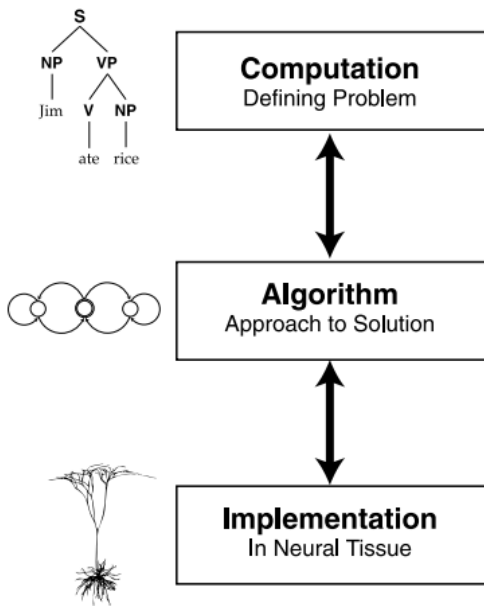
- Της νευροεπιστήμης, όπου η προσφορά της σε θεμελιώδεις πληροφορίες που αφορούν τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου, του νευρικού συστήματος κ.λπ. είναι απαραίτητη.
- Των γνωσιακών επιστημών που αφορά το επίκεντρο των ερωτημάτων και

- Της γνωστικής βιολογίας, διότι παρέχει συγκριτικές απόψεις.

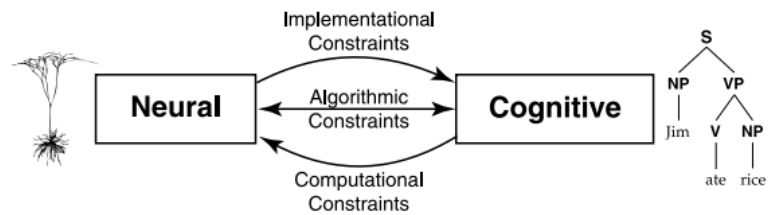
Ενώ οι υπολογιστικές επιστήμες θα αποτελέσουν τον τρόπο γεφύρωσης των παραπάνω τομέων.

Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνεται η προσέγγιση Marr, όπου υποστηρίζονται διαφορετικές προδιαγραφές κατά την προσέγγιση επίλυσης προβλημάτων και της συγκεκριμενοποίησης μέσω αλγορίθμων νευρωνικών κυκλωμάτων (Α). Ωστόσο, αντί να χαρτογραφηθούν αυτοί οι τρεις κλάδοι σε αυτή την ιεραρχία, δηλαδή υπολογισμός, αλγόριθμος και υλοποίηση, προτείνεται η ενσωμάτωση Marrian κάθε διεπιστημονικής γέφυρας. Η γενικότερη δομή του υπολογιστικού πλαισίου που προτείνει ο Fitch, φαίνεται στο σχήμα C όπου απεικονίζεται η ανάγκη δημιουργίας διεπιστημονικών γεφυρών προκειμένου να σχηματιστεί μια «υπολογιστική τριγωνοποίηση», όπως χαρακτηριστικά την περιγράφει. Οι δύο κορυφές νευροεπιστήμης και γνωσιακών επιστημών ενώνονται μέσω της μεγάλης πρόκλησης του σχήματος B, το οποίο έχει ως πρωταρχικό σκοπό την διερεύνηση και την σύνδεση του εγκεφάλου με τον νου. Ωστόσο, στο C η τρίτη συγκριτική κορυφή κατέχει έναν παραδοσιακό ρόλο στις γνωσιακές επιστήμες. Με σκοπό να επέλθει μια πλήρης αξιοποίηση των υπολογιστικών μεθόδων στους περιορισμούς των γνωσιακών επιστημών, είναι απαραίτητο να στοιχειοθετηθούν οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών ειδών που μελετώνται. Δεν λησμονείται όμως το γεγονός πως η εντυπωσιακή πρόοδος του τομέα αυτού συνέβη λόγω τεκμηρίων από πειράματα ζώων.

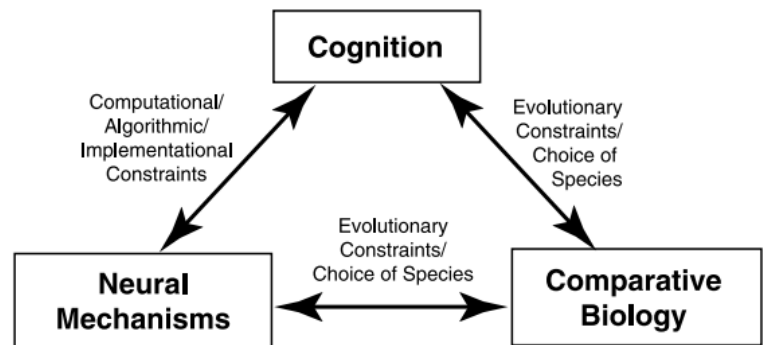
A. Classic Marr Framework



B. Current Extended Framework



C. Comparative Computational Approach



Εικόνα 23 Οι μέθοδοι μελέτης ζητημάτων νευρολογίας και υπολογιστικής βιολογίας. Πηγή: (Fitch, 2014)

Μια χρήσιμη πρακτική αποτελεί ο υπολογισμός και απεικόνιση βάσει δέντρου. Η συγκεκριμένη λειτουργία συναντάται σε διάφορες περιπτώσεις, μεταξύ και των γνωσιακών επιστημών, από την δομή νευρώνων μέχρι και περίπλοκες δομές που εμπίπτουν στην γλωσσολογία. Αυτό φυσικά δεν είναι τυχαίο, καθώς αποτελεί παράδειγμα των υπολογιστικών αρετών σε πρακτικές αλγοριθμικού επιπέδου και δομής των δεδομένων. Ορισμένοι κλάδοι της ψυχολογίας έχουν σε κύρια θέση πρακτικές όπως το «δέντρο» και την «ιεραρχική δομή», σε κάποιους άλλους παραμένουν υπό συζήτηση, ενώ κάποιοι άλλοι τα χρησιμοποιούν με έμμεσο τρόπο. Είναι ουσιώδες λοιπόν να μετουσιωθεί αυτή η γνώση σε πάγια πρακτική προκειμένου να διαπιστωθούν βαθύτερες δια τομεακές συνδέσεις. Τέλος, η γνωσιακή βιολογία θα απαιτήσει την απόρριψη κάποιων πρακτικών που βασίζονται σε διαισθητικούς παράγοντες. Η διαχώριση στατιστικών μοντέλων και συστήματος κανόνων παρουσιάζονται ως καταστροφικοί σε ορισμένες περιπτώσεις. έναντι αυτό, προτείνεται ελεγχόμενες επανεξεταζόμενες και επισημοποιημένες υποθέσεις εντός της υπολογιστικής βιολογίας, η οποία παρέχει ένα ευρύτερο πλαίσιο στο οποίο η ατομική μάθηση και οι περιορισμοί των ειδών ενέχουν σημαντικό ρόλο. Τα βασικά στοιχεία αυτού του επιστημονικού πεδίου που ακμάζει

συναντώνται ήδη σε κλάδους όπως η υπολογιστική νευροεπιστήμη και στην μαθηματική ψυχολογία, τα οποία προσεγγίζονται στην συνέχεια. (Fitch, 2014)

Ο ρόλος του φορμαλισμού στις γνωσιακές επιστήμες

Τα πυρηνικά εδάφια της ψυχολογίας παραμένουν συγκεκριμένα στα πεδία μελετών τους. Ο ορισμός αυτών συμβαίνει ευρετικά είτε ενδοσκοπικά, ενώ έπειτα η έρευνα προχωρά με την ανάλυσή τους σε επιμέρους έννοιες οι οποίες αντιμετωπίζονται ως πρωτόγονες. Συχνά, οι θεωρίες ορίζονται έπειτα από ένωσή τους σε διαγράμματα τα οποία παρουσιάζουν οπτικά την ροή πληροφοριών, ενώ πολλές φορές επιχειρείται η χαρτογράφηση τους σε μακροσκοπικό επίπεδο. Ωστόσο, ένα σημαντικό ποσό που αφορά την εμπειρική γνώση έχει συσσωρευτεί στο πλαίσιο εννοιών μακρο επιπέδου όπως παράδειγμα η λειτουργική μνήμη (working memory) και παρόμοιες έννοιες, καθώς επίσης γίνεται εμφανές πως οι επίσημες θεωρίες πρέπει να είναι συμβατές με τους περιορισμούς αυτών των δεδομένων. Η άποψη μεγάλου μέρους της επιστημονικής κοινότητας απέναντι σε αυτό το ζήτημα, θεωρεί πως θα ήταν θετική η ύπαρξη ενός επισημοποιημένου σώματος θεωρίας το οποίο θα μπορεί να συνδέσει τις ιδιότητες των μεμονωμένων νευρώνων που είναι ήδη κατανοητές με αυτές των νευρωνικών κυκλωμάτων και με τα διαθέσιμα γνωσιακά μοντέλα. Οι βιολόγοι που ασχολούνται με τις γνωσιακές περιοχές επισημαίνουν την περίληψη εξηγήσεων ανάλογα το είδος και τις διαφοροποιήσεις του, καθώς αναγνωρίζουν γνωστικές και επεξεργαστικές ομοιότητες μεταξύ τους.

4.2.3 Ο ρόλος της υπολογιστικής στην διατομεακή γεφύρωση

Οι πρωτοπόροι των προσπαθειών αυτών δημιούργησαν διαφορετικά μοντέλα υπολογισμού τα οποία επισημοποίησαν με διαφορετικούς τρόπους. μα στην συνέχεια έγινε φανερό πως είναι ισοδύναμα καθώς αντιπροσώπευαν τον ίδιο τύπο από πιθανούς υπολογισμούς. Αυτές οι διαισθητικές προσεγγίσεις λοιπόν, παραμένουν έγκυρες εξίσου. Η μηχανή Turing, για ιστορικούς λόγους πλέον, αποτελεί σύμβολο αυτών των μοντέλων παρά το γεγονός πως κάθε προσέγγιση αποτελεί χρησιμότητα σε διαφορετικούς τομείς. Βέβαια, οι περισσότερες γλώσσες προγραμματισμού για αυτούς τους σκοπούς είναι ισοδύναμες με την Turing. Έτσι, η επιλογή κάποιας γλώσσας, μέχρι την εμφάνιση νεότερων δεδομένων, δεν αποτελεί κάποια χρηστική σημασία αντικειμενικής ανωτερότητας. Ενδεικτικά, ορισμένες από αυτές τις γλώσσες προγραμματισμού μπορεί να είναι η Python, η C++, η Java και άλλες. Αρκετό έδαφος στην σύγχρονη επιστήμη καταλαμβάνει η διάκριση εύκολων και δύσκολων

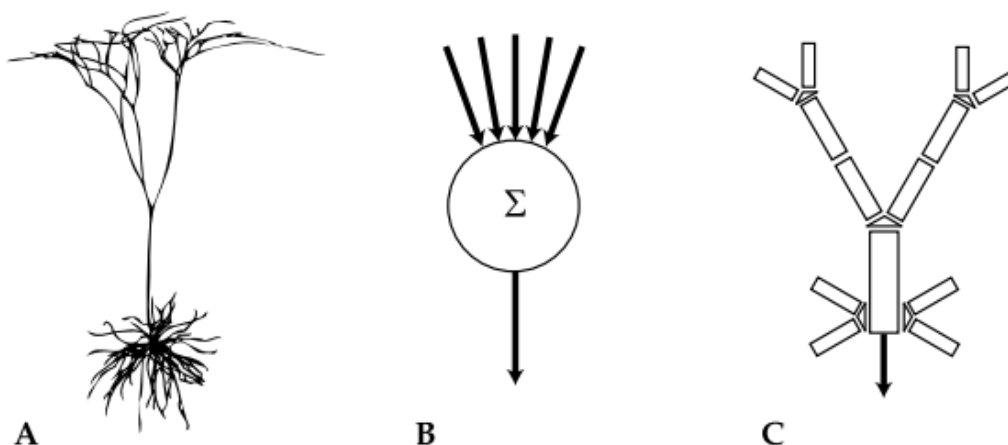
προβλημάτων, αποτελεσματικότητας στην επίλυση ή την παρουσίαση των λόγων που οι συγκεκριμένες προσεγγίσεις δεν παρουσιάζουν επιτυχία. Συμπερασματικά, η κύρια πρόταση παραμένει πως η υπολογιστική πρέπει να αποτελέσει θύλακα ωριμότητας.

4.2.4 Η υπολογιστική και ο νευρώνας

Αποτελεί κεντρικό ζήτημα στην σύγχρονη υπολογιστική νευροεπιστήμη ο τρόπος ανάλυσης των κλασικών μοντέλων των νευρώνων (των McCulloch και Pitts στα συνδεδετικά δίκτυα), ο οποίος φαίνεται να υποτιμά την υπολογιστική ισχύ ενός μοναδικού νευρώνα. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως εισάγεται ένα επίπεδο βιολογικής δράσης – του μεμονωμένου κυττάρου- ως βασικό στοιχείο μάθησης και προσαρμογής στα υπολογιστικά μοντέλα. Τα λάθη που συνέβησαν προηγουμένως οδήγησαν από τα μοντέλα δικτύου σε μεμονωμένα κελιά μέσω διεργασιών Hebbian, παράδειγμα ο χρόνος αιχμής ως εξάρτηση της πλαστικότητας. Η θεωρία του Hebb προσπαθεί να ερμηνεύσει την συναπτική πλαστικότητα των νευρώνων στον εγκέφαλο κατά την διαδικασία της μάθησης. (Hebb, 1949) Αυτή η επαναξιολόγηση στους νευρώνες βρίσκει εφαρμογές και σε εξελικτικό επίπεδο, εισάγοντας την βιολογία των κελιών τόσο σε υπολογιστικά μοντέλα, όσο και φιλοσοφικές αναζητήσεις, στις θεματικές του συνειδητού και της σκοπιμότητας. Η ουσία όμως παραμένει στο γεγονός πως οι νευρικές πληροφορίες αυτές κάνουν απαραίτητη την χρησιμοποίηση γνώσεων στο πεδίο από το δίκτυο στο κυτταρικό επίπεδο.

Το σφαιρικό νεύρο

Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι επιστήμονες τείνουν να δημιουργούν μοντέλα τα οποία δεν είναι ρεαλιστικά ή ακόμη και μη πρακτικά, προκειμένου να διευκολύνουν κάποιες διαδικασίες και υπολογισμούς μέσω απλοποίησης των ζητημάτων. Αυτή η πρακτική συναντάται για περίπου 50 χρόνια και σε περιπτώσεις της υπολογιστικής νευροεπιστήμης. Παράδειγμα αυτού αποτελεί το σφαιρικό νεύρο (B) παρά το γεγονός πως μια πραγματική απεικόνιση θα ήταν διαφορετική και πιο δένδροειδής. Αυτή η διαφοροποίηση πραγματικότητας και μοντέλου αποτελεί παράγοντα ασυνέχειας, οπότε στην πορεία έγινε κατανοητό πως αποτελεί λανθασμένη πρακτική σε θεμελιώδες επίπεδο.



Εικόνα 24 Η απεοκόνιση του νεύρου. Πηγή : (Fitch, 2014)

Η προσέγγιση έγινε πρώτη φορά από τους McCulloch και Pitts, κατά την οποία μεταφράζεται κάθε πρόταση με λογικούς όρους σε δυαδικά δίκτυα απλών μονάδων που είναι ισοδύναμα με τους νευρώνες. Έτσι, αθροίζονται όλες οι θετικές εισοδοι γραμμικά, εφαρμόζοντας μια μη γραμμική συνάρτηση κατωφλίου. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως αν το άθροισμα είναι πάνω από την τιμή κατωφλίου, το αποτέλεσμα δίνει 1 αντί για 0 σε μια ενεργοποίηση. Στο μοντέλο αυτό συναντώνται και ανασταλτικοί νευρώνες, οπότε εάν ήταν ενεργοί, το άθροισμα ενεργοποίησης δεν ήταν επαρκές. Η κρίσιμη πτυχή αυτού του μοντέλου σε υπολογιστικό επίπεδο αποτελεί το ότι εφαρμοζόταν ένα μη γραμμικό όριο λειτουργίας, όπου μετέτρεπε τις αναλογικές εισόδους σε μια διακριτή έξοδο. Ωστόσο, όλη η υπολογιστική ισχύς προέρχεται από την διάταξη των μονάδων σε δίκτυα και αυτή η υπεραπλούστευση παρέπεμπε στην εξάρτηση του κυττάρου από τις εισόδους του, αγνοώντας την προηγούμενη κατάστασή του, προσπερνώντας έτσι το γεγονός πως έπειτα από πυροδότηση του νευρώνα, αυτός περνά σε μία ανεκτική περίοδο. Κατά την περίοδο αυτή, οι πιθανότητες ενεργοποίησης του μειώνονται ή μηδενίζονται. Το εγχείρημα αυτό αποτέλεσε την εναρκτήρια ιδέα πως τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα μπορούν να αποτυπωθούν με αυστηρούς υπολογισμούς, οι οποίοι ήταν ιδιαίτερα σημαντικοί. Το μοντέλο αυτό είναι συμβατό με διαφορετικές νευροφυσιολογικές υλοποιήσεις, κάτι που δικαιολογεί την έλλειψη λεπτομερειών κατά την διερεύνηση νευρικών υπολογισμών. Αυτό αποτέλεσε μια θεμελιώδη υπόθεση, διαχωρίζοντας την γνωστική από την κυτταρική νευροφυσιολογία, με την πρώτη να επικεντρώνεται σε μακροσκοπικό επίπεδο στο νευρικό κύκλωμα ή στην λειτουργία ολόκληρου του εγκεφάλου.

Παρά τον απλοποιημένο του τρόπο, ο «νευρώνας» των McCulloch και Pitts παραμένει υπολογίσιμος παράγοντας της νευροεπιστήμης. Στην πορεία, δημιουργήθηκαν και άλλα

μοντέλα υπερβαίνοντας κάποιους υπολογιστικούς περιορισμούς όπως το μοντέλο της αντίληψης του Rosenblatt. Παρά το γεγονός ότι ορισμένα συνδετικά βιολογικά μοντέλα είναι μη ρεαλιστικά, έχουν αποδεδειγμένη ισχύ, καθώς έχουν σημειώσει επιτυχία σε διάφορες πτυχές υπολογισμών (π.χ. μουσικής ή γλώσσας). Ωστόσο, όλα αυτά τα μοντέλα στο σύνολό τους φαίνονται ιδιαίτερα ανεπαρκή στις αναλύσεις πραγματικών νευρώνων, καθώς φαίνεται πως οι σύγχρονες έρευνες πλέον απαιτούν τέτοιες. Η σύγχρονη λοιπόν αυτή απαίτηση των γνωσιακών νευροεπιστημών επιτάσσει την εκ νέου προσοχή στις κυτταρικές νευροεπιστήμες προκειμένου να κατανοηθούν οι λειτουργίες των νευρώνων σε πραγματικό επίπεδο και να πλαισιωθεί η αναζήτηση γεφύρωσης εγκεφάλου και νου.

Ο Ramón y Cajal για πρώτη φορά δημοσίευσε σχέδια που αφορούσαν τον μοναδικό νευρώνα ο οποίος είναι ένα κύτταρο διακριτό για την πολύπλοκη και δένδροειδή δομή του. Η κυτταρική μορφολογία αντιπροσωπεύει την κατανομή της μάζας του μέσα σε ογκώδεις νευρικούς ιστούς. Τώρα γνωρίζουμε πως οι διαφορετικοί κλάδοι ενός νευρώνα δεν είναι παθητικοί αθροιστές. Τα ίδια τα «δέντρα» λειτουργούν ως σχεδόν ισοδύναμα των μονάδων ενός συνδετικού δικτύου, ως υπολογιστικά στοιχεία. Η προσομοίωση της συνθετότητας στην λειτουργία ενός νευρώνα είναι πλέον εφικτή εφόσον έχουν χρησιμοποιηθεί οι αρχές της κυτταρικής ηλεκτροφυσιολογίας – τόσο σε χημικό όσο σε φυσικό επίπεδο - , σημειώνοντας συνεχή πρόοδο στην απεικόνιση και τον χειρισμό σε κυτταρικό επίπεδο. Πλέον, είναι κατανοητό πως η περίπλοκη μορφή των νευρώνων ενέχουν έναν κεντρικά σημαντικό ρόλο στην πορεία καθορισμού της συμπεριφοράς τους και των δικτύων που αποτελούν μέρος τους.

Τα μεμονωμένα κύτταρα φαίνεται να ανταποκρίνονται στο περιβάλλον τους με τρόπο που αλλάζουν την μορφή και την σύνθεσή τους. Παρομοίως, οι νευρώνες διαθέτουν παρόμοιες λειτουργίες, καθώς πρόκειται για ευκαριωτικά κύτταρα εξελιγμένου επιπέδου, διαθέτοντας προσαρμοστικότητα. Η διαδικασία επαναπροσδιορισμού ορισμένων τύπων μάθησης (κατά Hebb) είναι δυνατή, καθώς δεν εκφράζονταν επαρκώς στα δικτυακά μοντέλα, ενώ αποκτούν εύστοχη βιοφυσική έννοια σε κυτταρικό επίπεδο , δηλαδή κατά την δυναμική ενεργοποίηση του κυττάρου, η αποπόλωση διαδίδεται μέσω του δένδρικού συστήματος, παρέχοντας «διδασκτικά» σήματα κάθε σύναψης. Επιπλέον, ορισμένα φαινόμενα όπως μακροχρόνια κατάθλιψη κ.α., παρέχουν μηχανισμούς όπου ένα κύτταρο «μαθαίνει» τους υπολογισμούς που είναι απαραίτητοι με προσαρμογή της φυσικής τους μορφής. Συμπερασματικά, η απομάκρυνση από τα μοντέλα δικτύου και η υιοθέτηση των κυτταρικών θα αποτελέσει ουσιαστική ώθηση στην σύνδεση του γνωσιακού και νευρικού χάσματος.

4.2.5 Περεταίρω εφαρμογές στις γνωσιακές επιστήμες.

Το γεγονός πως δομικά τα κύτταρα είναι με αυτό τον τρόπο, οδηγεί σε υπολογιστικούς περιορισμούς σε στοιχειώδεις υπολογισμούς σε μοναδικά κελιά που με την σειρά τους επηρεάζονται τύποι αλγορίθμων που επαρκώς αποδίδουν τους δένδροειδείς νευρώνες. Αυτό το στοιχείο με την σειρά του πρέπει να διεισδύσει και στο επίπεδο των γνωσιακών θεωριών με σκοπό την καλύτερη αξιολόγηση σε θέμα ποιοι αλγόριθμοι και μοντέλα είναι βιολογικά εφαρμόσιμα προς υλοποίηση.

Σε ένα δεύτερο θέμα στις επιπτώσεις υπολογισμού νευρώνων αφορά τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των ειδών, των ζώντων οργανισμών που μελετώνται. Οι διαφορές αυτές υπάρχουν από το αντιληπτικό επίπεδο ως το γνωσιακό. Ωστόσο, στην μελέτη των θηλαστικών φαίνεται πιθανό να υφίστανται διαφορές στους τύπους νευρικών κυττάρων, νευροδιαβιβαστών, ιστών και περιοχών του εγκεφάλου. Αυτές οι υποθέσεις βασίζονται στο γεγονός πως οι διαφορές που είναι γενετικά βασισμένες στις νευρουπολογιστικές ικανότητες, πραγματοποιούνται μέσω μεμονωμένων κυττάρων τα οποία εκφράζουν το δικό τους αντίγραφο του γονιδιώματος. Κάθε τέτοιος νευρώνας βρίσκει την δικιά του «οδό» και επεκτείνει τους άξονές του με βάση τις ενδείξεις και τις αλληλεπιδράσεις που λαμβάνει με άλλα κύτταρα. Έτσι, πολλές σημαντικές γενετικά κατευθυνόμενες διαφορές ενδέχεται να παρατηρηθούν άμεσα σε κυτταρικό επίπεδο. Ένα παράδειγμα αποτελεί η έκφραση του γονιδίου FoxP2 σε διαφορετικά είδη. Το FoxP2 εκφράζεται στο νευρικό σύστημα και μια βλάβη του δημιουργεί ζητήματα του κινητικού ελέγχου της ομιλίας. Οι άνθρωποι διαθέτουν μια παραλλαγή αυτού, διαφορετική από τα άλλα είδη. Οι μοριακές τεχνικές επιτρέπουν την εισαγωγή του ανθρώπινου γονιδίου σε ειδικά διαμορφωμένους ποντικούς, οι οποίοι επιδεικνύουν φανερές διαφορές στην νευρωνική δομή τους, ειδικότερα, σε συγκεκριμένα κύτταρα των βασικών γαγγλίων.

Συμπερασματικά, το ζήτημα που έχουν να αντιμετωπίσουν οι επιστήμες που αναφέρθηκαν, αποτελεί την αποτύπωση της μορφολογίας σε υπολογιστικό επίπεδο, καθώς φαίνεται να είναι απαραίτητη για την περεταίρω διερεύνηση θεματικών της γνωσιακής επιστήμης, οπότε θα έπρεπε, μέσω διεπιστημονικότητας, να παραμείνουν στο παρελθόν τα ασαφή και μη ρεαλιστικά μοντέλα. Εν συνεχεία, η προσοχή θα εστιαστεί στις διαφοροποιήσεις που επιδεικνύουν τα διαφορετικά είδη στον νευρικό ιστό.

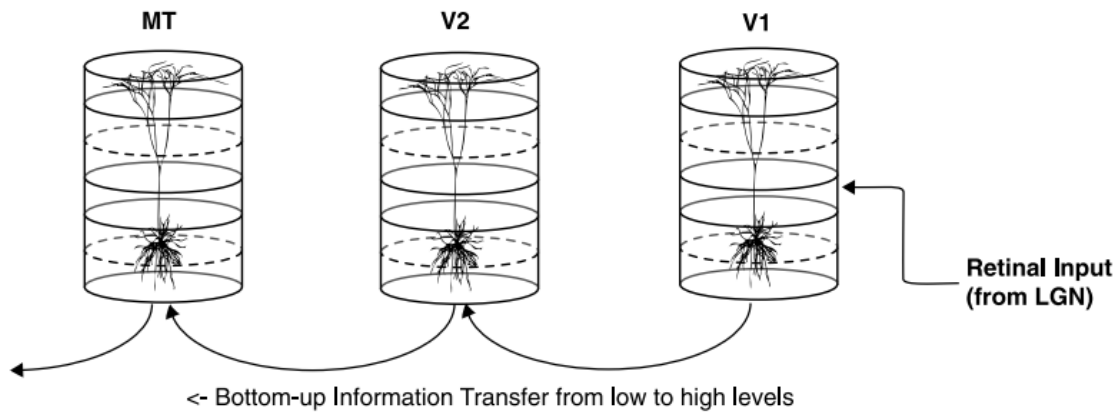
4.2.6 Θεωρία προγνωστικών συστημάτων

Στην συνέχεια ο Fitch συζητά μια ακόμη επιτυχία της σύγχρονης νευροεπιστήμης. Την ονομάζει «θεωρία προγνωστικών συστημάτων», ενώ συναντάται και με ποικίλα ονόματα, παράδειγμα «θεωρία προτύπων». Ουσιαστικά πρόκειται για θεμελιωμένες ιδέες, οι οποίες ακόμη δεν έχουν εκτιμηθεί από τους γνωσιακούς επιστήμονες. όπως σημειώνεται, ένας λόγος ενδέχεται να είναι η χρήση αυστηρής ορολογίας στο φάσμα της βιβλιογραφίας με νερολογικούς όρους, κάτι το οποίο αποτελεί δυσκολία στην αποσαφήνιση και αναδιατύπωση με γνωσιακούς όρους. Η βασική ιδέα της θεωρίας αυτής αποτελεί η πεποίθηση πως οι οργανισμοί δεν ενδιαφέρονται για τα πραγματικά δεδομένα που παρουσιάζονται σε πραγματικές συνθήκες, όσο για την πεποίθηση και τις προβλέψεις τους για την εντύπωση του τι είναι οι πραγματικές συνθήκες. Με αυτό το δεδομένο, γίνεται σαφές πως τα άτομα χρησιμοποιούν μια μορφή κανονικοποίησης πολλές φορές

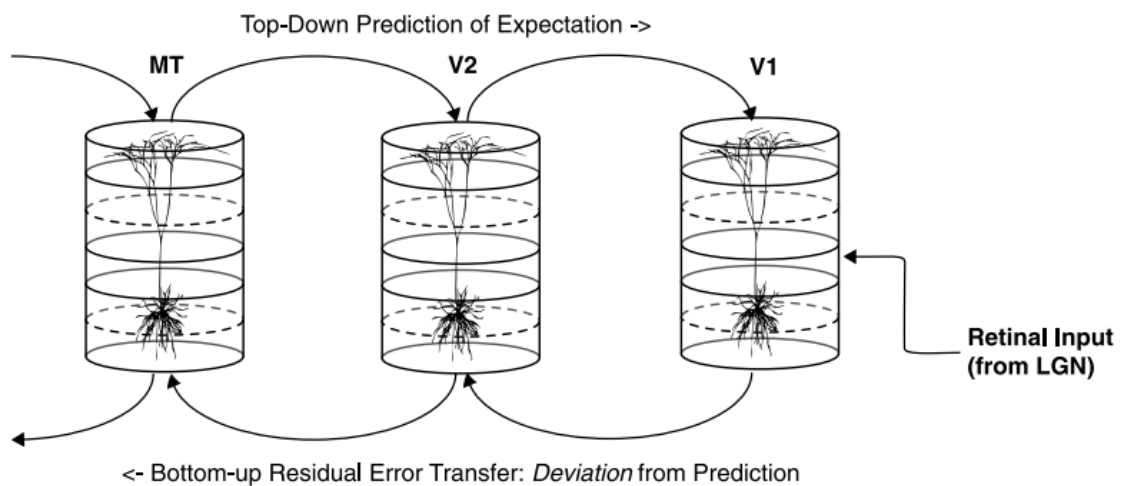
Κωδικοποίηση στο νευρικό σύστημα.

Σύμφωνα με τον Mumford, σε νευροανατομικό επίπεδο, οι υψηλότερες περιοχές του φλοιού δημιουργούν ένα μοντέλο της τρέχουσας σκηνής η οποία προβάλλεται σε χαμηλότερα επίπεδα. Στην συνέχεια, αυτές οι περιοχές υπολογίζουν την απόκλιση του μοντέλου αυτού και της πραγματικής σκηνής, ενώ αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά αυτή. Επιπλέον, υπέθεσε πως αυτή η διαδικασία φαίνεται να προχωρά από τις αισθητηριακές περιοχές στις συνειρμικές και μετωπικές περιοχές.

A. Traditional Bottom-Up Model of Neocortical Computation



B. Mumford's Predictive Coding Model of Neocortex



Εικόνα 25 Σχηματική απεικόνιση της προγνωστικής διαδικασίας σύμφωνα με τον Mumford – εστιάζοντας στην τυπική απόκλιση - και της παραδοσιακής θεώρησης μίας κατεύθυνσης ροής.

Στην προσπάθεια προσομοίωσης, οι Rao και Ballard δημιούργισαν, υλοποιώντας κάποιες βασικές αρχές, ένα ιεραρχικό μοντέλο πρόβλεψης κατά το οποίο τα κύτταρα που διεγείρονταν παρουσίασαν δύο λειτουργίες, την κλασική και το «endstopping». Το δεύτερο αυτό φαινόμενο αποτελεί ένα τύπο νευρώνα οπτικής επεξεργασίας. Ανάλογα μοτίβα πρόβλεψης περιγράφουν άλλα νευρωνικά συστήματα.

Προγνωστικά μοντέλα στην γνωσιακή επιστήμη

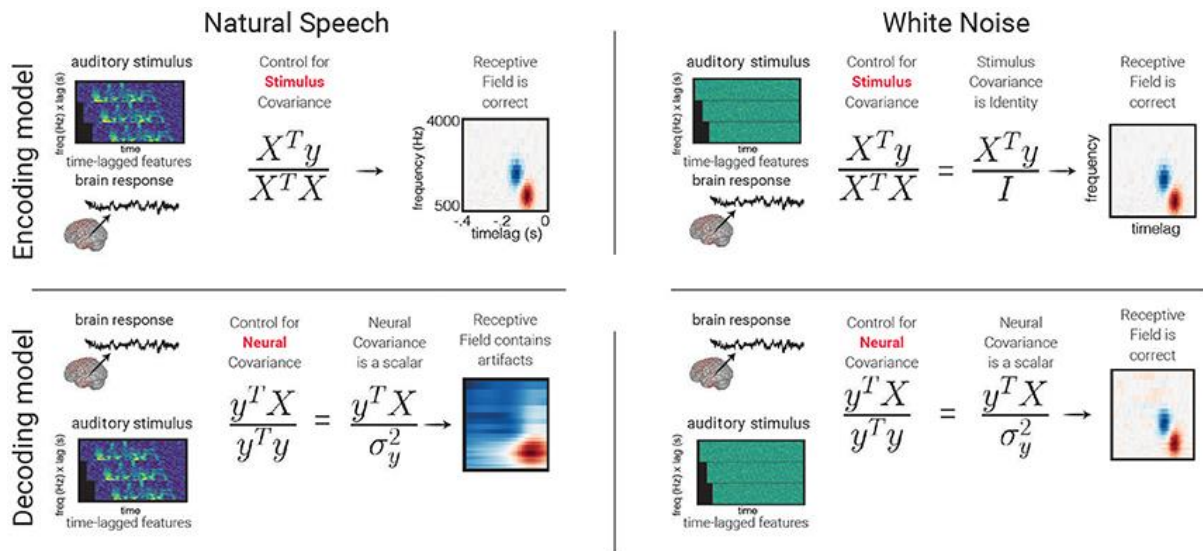
Ο εγκέφαλος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος σε απότομες αλλαγές που τον «ξαφνιάζουν» και αυτό έχει τεκμηριωθεί μέσω ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (EGG), συγκεκριμένα με το να διαπιστώνονται διαφοροποιήσεις σε μετρήσεις ηλεκτρικών σημάτων. Παρομοίως, μαγνητικά σήματα που μετρήθηκαν με μαγνητικούς τρόπους μέτρησης και απεικόνισης (MEG) . Σε

μελέτες που εστιάζουν σε αυτό το φαινόμενο, είναι γνωστό πως τέτοια, ως ακουστικά ερεθίσματα, κατά την αίσθηση απρόβλεπτων δεδομένων που παρεμβάλλονται έπειτα από σταθερό προηγούμενο μοτίβο, προκαλείται αρνητικότητα αντιστοιχίας («mismatch negativity» – MMN-). Ωστόσο, στην περίπτωση που αυτή η διαφορετική «παρεμβολή» επαναληφθεί, παίρνει μέρος σε αυτό το μοτίβο, οπότε δεν αντιλαμβάνεται πλέον από τον εγκέφαλο ως τέτοια. Αυτά τα δεδομένα δείχνουν πως ο εγκέφαλος συνεχώς υπολογίζει το έλλειμμα από τις προσδοκίες του, ενώ το MMN αποτελεί έναν δείκτη μιας «ιεραρχικής προγνωστικής κωδικοποίησης». Ένα παράδειγμα της αξίας αυτής της θεωρίας αποτελούν οι καταγραφές ντοπαμινεργικών νευρικών κυττάρων στον μεσεγκέφαλο. Η ντοπαμίνη, ένας ιδιαίτερα σημαντικός νευροδιαβιβαστής, αποτελεί το μέσο κωδικοποίησης της ανταμοιβής, με σημαντικό ρόλο σε διαδικασίες όπως μάθηση και άλλες. Με την βοήθεια του μοντέλου Rescorla και Wagner, προσεγγίζεται η κωδικοποίηση του σφάλματος μιας πρόβλεψης. Οι διαδικασίες πρόγνωσης στην ενεργοποίηση ντοπαμινεργικών νευρώνων χαρακτηρίζονται ως γνωσιακές. Οι νευρώνες αυτοί φαίνεται να αντιδρούν σε είδη υποκειμενικής ανταμοιβής από ότι την πραγματική ποσότητα αυτής. Η θεωρία που συζητάται παρέχει ένα κατάλληλο πλαίσιο ώστε να κατανοηθεί η θεωρία της μάθησης με την νευροεπιστήμη, καθώς οι οργανισμοί φαίνεται να προβλέπουν, οπότε η διαδικασία μάθησης ισχυροποιείται στις περιπτώσεις που οι προβλέψεις αυτές παρεκκλίνουν από την πραγματικότητα. Συνολικά, ο εγκέφαλος φαίνεται να πραγματοποιεί μια προσπάθεια πρόβλεψης στις εισόδους πληροφοριών «χτίζοντας» κάποια μοντέλα, τα οποία και συγκρίνει με τα δεδομένα που αποτελούν πραγματικότητα. Στην περίπτωση που προβλέπεται σωστά αυτή η πληροφορία, δεν παρουσιάζονται σφάλματα, οπότε κατά συνέπεια τα επίπεδα ντοπαμίνης παραμένουν σε φυσιολογικά επίπεδα με αποτέλεσμα να μην συμβεί η μάθηση. (Fitch, 2014)

Συνολικά, από την προγνωστική κωδικοποίηση που αναφέρθηκε παραπάνω, αντλούνται κάποια βασικά συμπεράσματα. Αρχικά, τα νευρωνικά δεδομένα που αποκτούνται από μοντέλα όπως αυτό των Rescorla και Wagner συνεισφέρουν στο να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ εγκεφάλου και μυαλού. Το γεγονός ότι το μοντέλο αυτό προέρχεται από συμπεριφορικές θεωρίες μάθησης δεν παίζει τόσο ρόλο όσο το ότι είναι σαφές και επιτελεί ποσοτικές προβλέψεις λεπτομερώς. Κατά αυτόν τον τρόπο γίνεται σαφές πως η διαδικασία μάθησης έχει ως βάση βαθιά εσωτερικά μοντέλα και ερμηνεύεται με γνωσιακούς παρά με συμπεριφορικούς όρους. Ο συνδυασμός χρήσης μοντέλων και πειραματικών δοκιμών επιτυγχάνουν εύστοχα αυτό που άλλοι κλάδοι και άλλες μέθοδοι φαίνεται να αποτυγχάνουν, παράδειγμα η αμιγώς ποιοτική μελέτη. Για περεταίρω πλαισίωση, χρειάζεται η ενσωμάτωση

θεωριών της υπολογιστικής επιστήμης, καθώς έχει παραμεληθεί η σημασία της στις γνωσιακές επιστήμες σε ορισμένες περιπτώσεις. Ο Fitch επιπλέον θεωρεί πως η υπολογιστική θεωρία αποτελεί ένα ορθό πλαίσιο προκειμένου να δομηθεί και να αξιολογηθεί η διαφορά μεταξύ διαφορετικών τύπων σε μοντέλα. ενώ επίσης αναγνωρίζεται η αναγκαιότητα του υπό το φάσμα της προσπάθειας κατανόησης της ύπαρξης διαφορετικών γνωσιακών δεξιοτήτων που διαθέτει το κάθε είδος. Τέλος, προτείνει την αρχειοθέτηση αυτών σε «τάξεις μοντέλων» που τα είδη είναι ικανά να οικοδομήσουν.

Ο λόγος που κάνει σημαντική την μοντελοποίηση της λειτουργίας που αναπτύσσεται σε αυτή την θεματική ενότητα είναι η διευκόλυνση των επιστημόνων να συσχετίσουν την νευρική λειτουργία που επιτελείται υπό αυτό το πρίσμα, με τα λαμβανόμενα ερεθίσματα. Η κωδικοποίηση αποτελεί μια πτυχή που αντικατοπτρίζει την αντικειμενική μεθοδολογία προς τον προσδιορισμό διαφορετικών χαρακτηριστικών για την μεταβλητή φύση της νευρικής απόκρισης. Η μοντελοποίηση της αποκωδικοποίησης ενέχουν έναν συμπληρωματικό ρόλο στα προηγούμενα μοντέλα καθώς επιτρέπουν την οικοδόμηση των ερεθισμάτων από το σύνολο της νευρωνικής δραστηριότητας, κάτι που πρόκειται να συνεισφέρει μελλοντικά στον κλάδο της νευροπροσθετικής. Διάφορα μοντέλα πρόβλεψης έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί σε υψηλής συχνότητας κινητικότητας ηλεκτροδίων, σε ερεθίσματα χαμηλού ή υψηλού επιπέδου, καθώς επίσης και στην ανάλυση του τρόπου που διαφοροποιούνται όλα αυτά με βασικούς άξονες τον χρόνο και το γνωσιακό επίπεδο. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι δύο τύποι κωδικοποίησης συγκριτικά, αποτελώντας παράδειγμα χρήσης και το πως επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Υπό αυτό το πρίσμα, διερευνώνται οι σχέσεις στα φάσματα ήχου και νευρώνων. Αριστερά ελέγχεται η διακύμανση του ερεθίσματος της ομιλίας και υπολογίζονται οι σχέσεις των καθυστερήσεων και των συχνοτήτων. Στην δεύτερη – αριστερά - εικόνα οι όροι X Y είναι αντεστραμμένοι και ελέγχεται η νευρική δραστηριότητα, ενώ φαίνεται η συσχέτιση των μεταβλητών. Στην δεξιά πλευρά ακολουθείται η ίδια προσέγγιση σε ερέθισμα λευκού θορύβου και φαίνεται πως δεν υπάρχει κάποια συσχέτιση, οπότε ο πίνακας συνδιακύμανσης αποτυπώνεται να δίνει σχεδόν ίδια αποτελέσματα και στο δεκτικό πεδίο στην κωδικοποίηση και την αποκωδικοποίηση. Ενώ το δείγμα αυτό αποτελεί μέρος της μοντελοποίησης του δεκτικού πεδίου, οι ίδιες προειδοποιήσεις ενδέχεται να υφίστανται και για τα υπόλοιπα μοντέλα συσχετισμού εισόδων – εξόδων. (Holdgraf et al., 2017)



4.2.7 Συμπεράσματα

Έχει γίνει πλέον σαφές πως η άποψη του Fitch θα προωθήσει την εξέλιξη των γνωστικών επιστημών. Η αρχική και κύρια παρότρυνσή του αφορούσε την χρήση υπολογιστικών μοντέλων και διεπιστημονική γεφύρωση ώστε να δημιουργηθεί ένα επισημοποιημένο πλαίσιο το οποίο θα προϋποθέτει την ποσοτική διάθεση και επαναληψιμότητα των πειραμάτων. Αποτελεί σημαντική επίτευξη η ύπαρξη θεωρητικών πλαισίων και συγκεκριμένα αυτών που αναφέρθηκαν περί μεμονωμένου νευρώνα, της υπολογιστικής θεωρίας και τα μοντέλα πρόγνωσης. Τα θεωρητικά αυτά πλαίσια πληρούν τις προϋποθέσεις για ένα αυστηρό και θεμελιωμένο σώμα στην γνωστική επιστήμη, σε βιολογικά και υπολογιστικά επίπεδα. Εντός των γνωστικών επιστημών η γλωσσική και μουσική θεωρία αποτελούν θεματικές επίσης ώριμες ώστε να συνδεθούν με την νευρική υπολογιστική. Στο σημείο της δημιουργίας υποθέσεων και την χαρτογράφηση της διαφορετικής λειτουργίας μεταξύ των ειδών, υπογραμμίζεται η σπουδαιότητα της βασισμένης σε δένδρα υπολογιστικής μεθόδου. Σε μικροσκοπικό επίπεδο, εφόσον οι νευρώνες παρουσιάζουν συγκεκριμένη δομή και τα έως τώρα μοντέλα κρίνονται ανεπαρκή, πρέπει να δοθεί έμφαση σε αυτά τα στοιχεία καθώς ενέχουν έναν σπουδαίο ρόλο σε όλες αυτές τις λειτουργίες που μελετώνται. Τέλος, καθίσταται σαφές πως ένα ώριμο επιστημονικό πεδίο, οι γνωστικές επιστήμες δηλαδή, θα έπρεπε να έχει την ικανότητα να διαμορφώνει ερωτήματα και στην συνέχεια να τα απαντά με όρους τόσο υπολογιστικούς όσο και νευρολογικούς. (Fitch, 2014)

4.3 Πολιτισμική προσκόλληση

Ένα φαινόμενο που μελετά η νευροεπιστήμη, είναι αυτό της πολιτισμικής προσκόλλησης (Cultural Attachment), ένα σύνολο διεργασιών, κατά το οποίο, το άτομο οποιασδήποτε κουλτούρας, χρησιμοποιεί αξίες και αντικείμενα αυτής, ως μέσο ψυχικής ασφάλειας σε περιπτώσεις έντονης ψυχολογικής πίεσης. Η νευροεπιστήμη προσπαθεί να συνδέσει τους βιολογικούς μηχανισμούς με την πολιτισμική προσκόλληση και αυτό το πετυχαίνει με την συνεισφορά της υπολογιστικής νευροεπιστήμης. Η υπολογιστική νευροεπιστήμη “ξεφεύγει” απ’ την προβλεπτική μεθοδολογία και ακολουθεί μια μηχανιστική προσέγγιση. Δηλαδή, περιγράφει το φαινόμενο, αναπτύσσοντας τα επιμέρους τμήματα-λειτουργίες σε Αυτό την βοηθά να ανεξαρτητοποιείται σε έναν μεγάλο βαθμό από την στατιστική για να επιβεβαιώσει την ύπαρξη του φαινομένου της πολιτισμικής προσκόλλησης και πως αυτή λειτουργεί ως ένα φυσικό αντικείμενο που χρησιμοποιεί το άτομο για να αισθανθεί ασφάλεια και οικειότητα.

Σε πρώτο στάδιο, πρέπει να αναφερθούμε στην πολιτισμική προσκόλληση. Η πολιτισμική προσκόλληση είναι άμεσο παράγωγο της Θεωρίας Προσκόλλησης (Attachment Theory), λόγω των πολλών ομοιοτήτων που παρουσιάζει με την ανατροφή ενός νεογέννητου μέσα στο οικογενειακό περιβάλλον, μόνο που το νεογέννητο σε αυτή την περίπτωση είναι το άτομο και η οικογένεια είναι η σύγχρονη κοινωνία.

Η πολιτισμική προσκόλληση και η θεωρία προσκόλλησης έχουν κοινές βασικές αρχές. Η πρώτη αφορά το μοντέλο εσωτερικών διεργασιών και η δεύτερη αρχή είναι ότι αντιμετωπίζει τους “στόχους” με τους οποίους το άτομο σχηματίζει δεσμούς ως “βάσεις” σταθερότητας.

Το μοντέλο εσωτερικών διεργασιών, είναι το γνωστικό πλαίσιο που περιλαμβάνει τις αξίες και τους κανόνες που έχει αποκτήσει το άτομο από την παιδική του ηλικία, μέσω των αναμνήσεών του, στις οποίες αλληλεπιδρούσε με τον κηδεμόνα του. Το μοντέλο είναι αυτό που θα διαμορφώσει και τον χαρακτήρα του ατόμου κατά τις κοινωνικές επαφές του. Το μοντέλο είναι επίσης δυναμικό ως έναν βαθμό, και μπορεί να προστίθενται στοιχεία και εμπειρίες στις ήδη υπάρχουσες χωρίς όμως να αλλοιώνονται οι προηγούμενες, αλλά να δίνουν στο άτομο την δυνατότητα να ανακαλεί λεπτομέρειες από περασμένα γεγονότα. Η δυναμικότητα του μοντέλου σταματά μόλις το άτομο “προσθέσει” σε αυτό, αμυντικούς μηχανισμούς. Και όπως και με τους κηδεμόνες, έτσι και με την κουλτούρα, αν έχουν τσιμεντωθεί οι σχέσεις με αυτήν, δύσκολα “σπάει” η σύνδεση με το άτομο, παρόλο που είναι

πιο περίπλοκη ως “κηδεμόνας” η κουλτούρα. Και αυτό διότι δεν είναι κάποιο φυσικό πρόσωπο, αλλά “εκπροσωπείται” από “σύμβολα”, όπως σημαίες, αντικείμενα πολιτισμού όπως αγάλματα κ.α.

Η κουλτούρα ως “βάση” σταθερότητας, δεν είναι καινούρια ως έννοια. Από τα πρώτα χρόνια που οι άνθρωποι οργανώθηκαν στις πρώτες κοινωνικές δομές, και εγκαταστάθηκαν σε περιοχές, δένονταν μεταξύ τους. Είχαν την ελευθερία να εξερευνούν το περιβάλλον γύρω τους και να είναι πιο αποτελεσματικοί όταν δρούσαν ως ομάδες, έχοντας παράλληλα ένα ασφαλές μέρος για να ξεκουραστούν και να προστατευτούν απ’ τις εξωτερικές συνθήκες. Τα παραπάνω συμβαίνουν πρώτα στην οικογένεια, όπου το παιδί εξερευνά το περιβάλλον, ικανοποιεί την περιέργειά του και στην περίπτωση που νιώσει ότι απειλείται με οποιονδήποτε τρόπο, επιστρέφει στον κηδεμόνα-φροντιστή του.

Στην βάση αυτών των αρχών βρίσκεται ο ανθρώπινος εγκέφαλος, ο οποίος χειρίζεται όλα αυτά τα ερεθίσματα από την στιγμή που γεννιέται. Και ο τρόπος που το πετυχαίνει αυτό, είναι με την διαδικασία των συσχετισμών. Αυτήν ακριβώς την μέθοδο επιστρατεύει και η υπολογιστική νευροεπιστήμη για να λύσει και να εξηγήσει το ζήτημα της πολιτισμικής προσκόλλησης. Η αντίστοιχη διαδικασία ανήκει στον τομέα της μηχανικής μάθησης, στο οποίο τα υπολογιστικά συστήματα που χρησιμοποιούνται, κατασκευάζουν μοντέλα από μια πληθώρα πειραματικών δεδομένων, προκειμένου να κάνουν προβλέψεις βασιζόμενες στα δεδομένα ή να εξάγουν συμπεράσματα από αυτά. (Wei-Jie Yap et al, 2019)

4.4 Παράδειγμα μοντέλου Python

Η γνωστική ψυχολογία χρησιμοποιεί στα πειράματά της λογισμικό που προσομοιώνει την επίδραση εξωτερικών ερεθισμάτων σε μια οντότητα, ανιχνεύει και καταχωρεί τις αντιδράσεις αυτού και τις καταχωρεί σε βάσεις δεδομένων για μελλοντική χρήση. Η καταχώριση αυτών των αντιδράσεων γίνεται με γίνεται με μια πληθώρα συσκευών και αισθητήρων όπως οπτικά συστήματα παρακολούθησης (eye-tracking monitoring devices), αλλά και συσκευές που είμαστε συνηθισμένοι να βλέπουμε καθημερινά όπως τηλεχειριστήρια και controllers κονσολών παιχνιδιών. Ένα τέτοιο ολοκληρωμένο σύστημα είναι το Kinect της Microsoft. Η καταχώριση των αντιδράσεων λαμβάνεται και από βιβλιοθήκες που περιλαμβάνουν έτοιμες ακολουθίες ερεθισμάτων, με πολλές από αυτές τις βιβλιοθήκες να πωλούνται ως αυτοτελείς λογισμικές λύσεις, και άλλες να διατίθενται δωρεάν.

Πολλές από αυτές τις βιβλιοθήκες τις συναντούμε στην γλώσσα προγραμματισμού python.

Σε όλες τις βιβλιοθήκες και αυτοτελείς λύσεις, λείπει η τρισδιάστατη απεικόνιση γραφικών στοιχείων, αν και η python(πχ Panda3d, Vizard) και άλλες γλώσσες (πχ. Unreal Engine, Cryo Engine, Unreal Engine κ.λπ.) δίνουν αυτή την επιλογή, δεν υπάρχει κάποιος άμεσος τρόπος να αξιοποιηθούν οι λειτουργίες των 3D γραφικών από αυτές τις βιβλιοθήκες. Για να κάνουμε αυτή την σύνδεση μεταξύ των βιβλιοθηκών κάνουμε χρήση επιπλέον βιβλιοθηκών. Μία από αυτές είναι και η Ratcave, η οποία δίνει την δυνατότητα προσθήκης καταγραφής και ανάλυσης ερεθισμάτων σε τρεις διαστάσεις, σε βιβλιοθήκες που επιτρεπόταν μόνο μέχρι 2 διαστάσεις και έχουν το api OpenGL-2.0. Στόχος της Ratcave, είναι να διευκολύνει την πρόσβαση σε επιστήμονες και βιβλιοθήκες να ενσωματώνουν και να χρησιμοποιούν 3D γραφικά, σε ήδη προυπάρχουσες βιβλιοθήκες που χρησιμοποιούνται στην ψυχολογία.

Η Ratcave, έρχεται με μια τεράστια συλλογή δεδομένων και μακροεντολών με κύριες αυτές της απεικόνισης αντικειμένων και μια πληθώρα εφέ φωτισμού, χωρίς να απαιτεί απ τον χρήστη να τα δημιουργεί ο ίδιος, αλλά να τα προσαρμόζει εάν και εφόσον το επιθυμεί ο ίδιος. Η Ratcave χρησιμοποιεί ως αντικείμενα, συστήματα συντεταγμένων 3d (πχ. αρχεία τύπου Wavefront), και στηρίζεται στις αρχές του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού και τα αντικείμενα αυτής ονομάζονται “Mesh”.

Μόλις σχεδιαστεί το Mesh που θέλουμε να δημιουργήσουμε, απεικονίζεται από οποιαδήποτε βιβλιοθήκη εφόσον υποστηρίζει το OpenGL-2.0. Στην συνέχεια η Ratcave, προσθέτει φωτισμούς και σκιές (“Shaders”) και μπορεί να το κάνει “φορτώνοντας” τους Shaders από την κάρτα γραφικών, εάν αυτή υπάρχει στο σύστημα μας. Τέλος, αξίζει να αναφερθούμε στο πώς η Ratcave κάνει την εισαγωγή των τριών διαστάσεων σε βιβλιοθήκες που είναι σχεδιασμένες για 2. Αυτό το πετυχαίνει χρησιμοποιώντας το παράθυρο ως προοπτική. Δηλαδή το τρισδιάστατο Mesh, αποτυπώνεται στην οθόνη ως η προβολή του ίδιου του αντικειμένου και ο χρήστης έχει την δυνατότητα να περιστρέφει την κάμερα, και επομένως να βλέπει υπό διαφορετική οπτική το αντικείμενο.

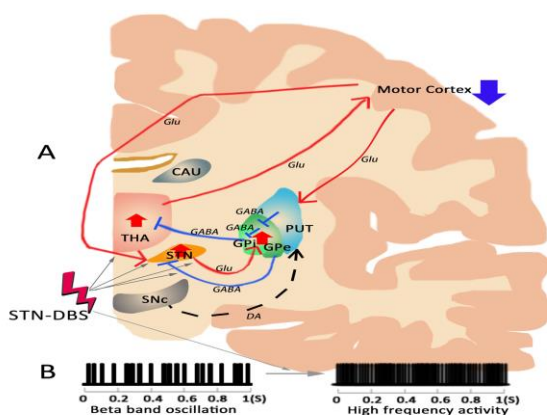
Εν κατακλείδι, η Ratcave είναι ένα επιπλέον εργαλείο για τους επιστήμονες που θέλουν να αξιοποιούν τις νέες τεχνολογίες της επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality) αλλά και μιας απλής τρισδιάστατης απεικόνισης των πειραμάτων τους, χωρίς όμως να

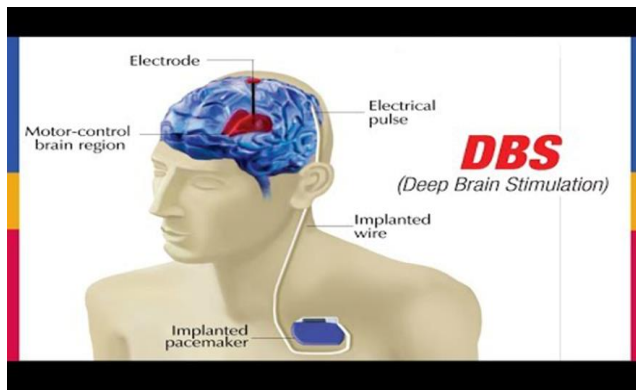


εμβαθύνουν στην επιστήμη των υπολογιστών.(Εικόνα: Τρισδιάστατη απεικόνιση αντικειμένου

4.5 Υπολογιστική εξελικτική βιολογία και εγκεφαλικά ερεθίσματα

(Chen, 2017)





(Χατζηκάλφας, 2020)

Τα προβλήματα που προκύπτουν, έχουν να κάνουν με την διέγερση. Τα μοτίβα είναι σταθερά και αμετάβλητα ως προς τον χρόνο και επιπλέον, οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι μεγάλες και μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα του ασθενούς.

Σε αυτό το πρόβλημα, δίνει λύση η υπολογιστική βιολογία. Αυτό που κάνει, είναι να βελτιστοποιεί τα μοτίβα διέγερσης, επιστρατεύοντας την τεχνική των γενετικών αλγορίθμων, προκειμένου να βρίσκει ελάχιστες τιμές στις συχνότητες διέγερσης. Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Γ.Α.), είναι αλγοριθμικές διαδικασίες, και βασίζονται στην αρχή της φυσικής επιλογής, εξαλείφοντας τα “κακά” χαρακτηριστικά-λύσεις των αρχικών σταδίων, και βελτιώνοντας-ενισχύοντας τα “καλά”. Αυτός ο έλεγχος γίνεται με την χρήση τελεστών καταλληλότητας ή αλλιώς, γενετικών τελεστών. Και η χρήση των Γ.Α. είναι ένας ιδανικός τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος, λόγω της μη-γραμμικότητας μεταξύ της σχέσης της διέγερσης που εισάγουμε με τον νευροδιεγέρτη, και του σήματος που παίρνουμε απ' τον εγκέφαλο. Η εύρεση του μοτίβου ξεκινάει σε πρώτο στάδιο μοντελοποιώντας τις περιοχές που θέλουμε να διεγείρουμε, και στην συνέχεια, στέλνουμε έναν παλμό ελάχιστης συχνότητας διέγερσης και ο Γ.Α. υπολογίζει την συσχέτιση του εισαγόμενου και εξαγόμενου σήματος από τον μοντελοποιημένο “εγκέφαλο”, και προσαρμόζει την επόμενη γενιά, δηλαδή το επόμενο εισαγόμενο σήμα. Η μέση τιμή της συχνότητας βρέθηκε να είναι χαμηλότερη από τις συχνότητες που χρησιμοποιούνταν ως τώρα. (Brocker et al, 2017)

Αυτή η παρατήρηση, έχει άμεσο αντίκτυπο στην ζωή του ασθενή, διότι η μειωμένη συχνότητα, συνεπάγεται και χαμηλότερη κατανάλωση της μπαταρίας του νευροδιεγέρτη. Εκτιμάται ότι μπορεί να προσθέσει έως και περίπου 4 χρόνια λειτουργίας της μπαταρίας, ελαχιστοποιώντας τις εγχειρήσεις αντικατάστασης της μπαταρίας, μιας και έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα επιδείνωσης των συμπτωμάτων της νόσου. (Kumar&Murgai, 2019)

4.6 Υπολογιστική Νευροηθολογία

Η ηθολογία είναι κλάδος της νευροεπιστήμης που μελετά την συμπεριφορά των έμβιων όντων. Η συμπεριφορά κατά την σύγχρονη ηθολογία επηρεάζεται από τα ερεθίσματα του περιβάλλοντός του οργανισμού, και η συμπεριφορά “δημιουργείται” στο νευρικό σύστημα. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την “παραδοσιακή” ηθολογία η οποία μελετούσε τις “πρωτόγονες” συμπεριφορές που είναι αυτές που οδηγούν στην ικανοποίηση των βασικών αναγκών (τροφή, στέγαση, αναπαραγωγή κλπ.). Ένας τρόπος που διεξάγονταν τα πειράματα αυτά, ήταν με την εκπαίδευση πειραματόζωων. Αυτός ο τρόπος όμως, δεν μπορεί να παράγει ακριβή αποτελέσματα, διότι “χάνεται” η έννοια της “ελεύθερης επιλογής” των οργανισμών και τα ευρήματα δεν περιλαμβάνουν τις διακυμάνσεις που θα περιμέναμε να δούμε στην φύση.

Αυτές οι διακυμάνσεις είναι πιο εύκολο να παρατηρηθούν με την χρήση των υπολογιστών. Αυτό διότι μας δίνεται η δυνατότητα να παρατηρήσουμε την “δυναμική” των νευρικών σημάτων, μιας και μια απλή μετατόπιση του κεφαλιού του πειραματόζωου δεν μπορεί να μας δώσει σαφή δεδομένα για παράδειγμα, την διαδικασία ζευγαρώματος. Με την χρήση των τεχνολογιών της μηχανικής όρασης και μηχανικής μάθησης, μπορούμε να απαρστήσουμε τις υποθέσεις και να σχεδιάσουμε υπολογιστικά πειράματα με περισσότερη ακρίβεια και μεγαλύτερη πιστότητα, και να μελετήσουμε οργανισμούς και τις συμπεριφορές αυτών σε κλίμακα που δεν θα μπορούσαμε με γυμνό μάτι.

Αυτές οι τεχνολογίες, αν και βρίσκονται σε πολύ αρχικό στάδιο, έχουν ήδη συνεισφέρει πολλά. Στο γνωστότερο κομμάτι που φαίνεται η συνεισφορά τους, είναι στην χαρτογράφηση των νευρικών συστημάτων των οργανισμών και καλύτερη αναγνώριση των μηχανισμών αυτών, σε πολύ λιγότερο χρόνο, κάνοντας έτσι, τα πειράματα πιο σύντομα και επιτρέποντας τους ερευνητές να εμβαθύνουν.

Η Υπολογιστική Νευροηθολογία μελετά την συμπεριφορά και οργανώνει τα πειράματά της με τρόπο ώστε να είναι διαισθητικά κατανοητά από του ερευνητές. Το πρώτο στοιχείο οργάνωσης είναι αυτό των χρονοδιαγραμμάτων. Οι ερευνητές παρατηρούν τις κινήσεις του οργανισμού και αποδομούν τις συμπεριφορές αυτών με βάση τις χρονικές περιόδους στην οποίες αλλάζουν τα σήματα. Μετά έχουμε την ερμηνευσιμότητα. Είναι η διαδικασίες που συσχετίζουμε “λανθάνουσες” διαισθητικά λειτουργίες σε στις συμπεριφορές. Είναι μεταβλητές που τόσο καιρό, τις θεωρούσαμε άσχετες, και τώρα τις συνδέουμε στις εκάστοτε συμπεριφορές, εφόσον έχουν σύνδεση μέσω της νευρικής δραστηριότητας που παρατηρούμε. Τέλος, η προβλεψιμότητα. Αποτελεί αντικειμενικό σκοπό της νευροεπιστήμης και δη, της

υπολογιστικής νευροθολογίας. Το να μπορούμε να προβλέψουμε πολλές γνωστές συμπεριφορές και μοτίβα αυτών, καθιστά πιο αποτελεσματικά τα πειράματα μιας και μας δίνεται η δυνατότητα να εμβαθύνουμε σε αυτά. (Datta et al, 2019)

ΕΝΟΤΗΤΑ 5 – Συμπεράσματα

Έπειτα από εκτενή μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, είναι πλέον σαφές πως η υιοθέτηση πιο ευέλικτων τρόπων απεικόνισης, μελέτης, διαχείρισης των δεδομένων και της πληροφορίας αποτελούν ένα καινούριο μονοπάτι στην ανάπτυξη των επιστημών. Είναι πολύ σημαντική η σύμπραξη στον τομέα της διεπιστημονικότητας ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητοί στόχοι εξέλιξης και περεταίρω διερεύνησης του εγκεφάλου και των λειτουργιών του προκειμένου να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ εγκεφάλου και γνωσιακού επιπέδου. Η επιστημονική κοινότητα φαίνεται να κινείται προς τα εργαλεία που προσφέρει η υπολογιστική βιολογία και γενικότερα η επιστήμη της υπολογιστικής μέσω αλγορίθμων και μοντέλων διαχείρισης της πληροφορίας. Πέρα από το στάδιο της επιστημονικής έρευνας, δηλαδή της τεκμηρίωσης υποθέσεων και των ανακαλύψεων, η εξελικτική αυτή πορεία συνεισφέρει και σε πολυάριθμους άλλους τομείς, όπως της διάγνωσης.

Στην διάρκεια αυτής της διερεύνησης, του κατά πόσο δηλαδή η υπολογιστική βιολογία αποτελεί καίριο λίθο στις νευροεπιστήμες και ειδικότερα στην γνωσιακή νευροεπιστήμη, αναπτύχθηκαν διάφορα επιχειρήματα τα οποία βασίζονται σε τεκμηριωμένες ερευνητικές εργασίες και αναφορές. Η ανάγκη επισημοποίησης αυτών των θέσεων φανερώνει από μόνη της την τάση της επιστημονικής κοινότητας καθώς επίσης και την πλέον αδιαμφισβήτητη θετική συνεισφορά μεταξύ των πεδίων που συζητήθηκαν.

Βιβλιογραφία

- Bagkos, P. (2015). *Υπολογιστική Γονιδιωματική*. Athens: Kallipos, Open Academic Editions. chapter 11.
- Bailey, R. (2020, 02 04). *ThoughtCo*. Ανάκτηση από <https://www.thoughtco.com/anatomy-of-the-brain-cerebral-cortex-373217>
- Banich et al, M. T. (2018). *Cognitive Neuroscience*. Cambridge University.
- Beam et al, L. G. (2014). Mapping the Semantic Structure of Cognitive Neuroscience. *Journal of Cognitive Neuroscience*, σσ. 2014; 26 (9): 1949–1965.
- Bielza&Larranaga, C. P. (2020). *Data-Driven Computational Neuroscience: Machine Learning and Statistical Models, Chapter 1 Computational Neuroscience (pp. 3-50)*. Cambridge: : Cambridge University Press.
- Bousquet, O., von Luxburg, U., & Raetsch, G. (2004). *Advanced Lectures on Machine Learning*. Springer-Verlag.
- Britannica, T. E. (2018). *single photon emission computed tomography*. *Encyclopedia Britannica*. . Ανάκτηση από <https://www.britannica.com/topic/single-photon-emission-computed-tomography>
- Britannica, T. E.-p. (2013, August 7). *Encyclopedia Britannica*. Ανάκτηση από <https://www.britannica.com/topic/positron-emission-tomography>
- Brocker et al, B. D. (2017). *Optimized temporal pattern of brain stimulation designed by computational evolution*. *Sci. Transl. Med.* 9, eaah3532 (2017) 4 January 2017.
- C. James et al, G. P. (2008). *Vibrational spectra and ab initio molecular orbital calculations of the novel anti-cancer drug combretastatin A-4 prodrug*, *Spectrochimica Acta Part A. Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Volume 70, Issue 5, 2008, Pages 1208-1216.
- Chakraborty et al, C., Roy, S. S., Hsu, M. J., & Agoramoorthy, G. (2012). *Can computational biology improve the phylogenetic analysis of insulin?*. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 108(2), 860–872.). .
- Chaney, D. (2013, 02 7). An overview of the first use of the terms cognition and behavior. *Behav Sci (Basel)*., σσ. 143-153. doi: 10.3390/bs3010143. PMID: 25379231; PMCID: PMC4217620.
- Chen, H. (2017). *Deep Brain Stimulation of Subthalamic Nucleus Selectively Modulates Striato-Thalamo-Cortical Circuit in Parkinson's Disease: a Systematic Review and ALE Meta-analysis* . *Mov Disord*. 2017; 32 (suppl 2).
- combio. (χ.χ.). *Computational Biomodeling Laboratory*. Ανάκτηση από <https://combio.org/research/>
- Datta et al, S. R. (2019). *Computational Neuroethology: A Call to Action* . *Neuron*, Volume 104, Issue 1, Pages 11-24.

- Eich & Smith, T. a. (2012). *Cognitive Neuroscience -Psychology* . Oxford Bibliographies.
- Fan Xue, M. H. (2019). *A Brief History of Simulation Neuroscience* . Frontiers in Neuroinformatics Vol. 13.
- Fitch, W. T. (2014, 5 13). Toward a computational framework for cognitive biology: Unifying approaches from cognitive neuroscience and comparative cognition. *Physics of Life Reviews*, Volume 11, Issue 3,, σσ. 329–364.
- Franchi et al, V. S. (2019). The prospects for application of computational anatomy in forensic anthropology for sex determination. σ. forsciint.2019.01.009 .
- Gazzaniga, M. S. (2009). *The Cognitive Neurosciences, 4th edition*. Cambridge: The MIT Press, England.
- Grienberger & Konnerth, C. a. (2012). *Imaging Calcium in Neurons*. PRIMER| VOLUME 73, ISSUE 5, P862-885, MARCH 08.
- Grosso & Sirota, N. A. (2019). *Ratcave: A 3D graphics python package for cognitive psychology* . Behavior Research Methods (2019) 51:2085–2093.
- Harmon, K. (2010, June 28). *Scientific American*. Ανάκτηση από <https://www.scientificamerican.com/article/personal-genome-sequencing/>
- Hildegardo et al, F. A. (2020). *Experimental and ab initio investigation of the products of reaction from Δ9-tetrahydrocannabinol (Δ9-THC) and the fast blue BB spot reagent in presump*. Forensic Chemistry, Volume 17, 2020, 100212, ISSN 2468-1709.
- Holdgraf et al., R. J. (2017, 9 26). Encoding and Decoding Models in Cognitive Electrophysiology . *Frontiers in Systems Neuroscience* , vol 11.
- Hosch, W. L. (2012, November 25). *machine learning*. *Encyclopedia Britannica*. Ανάκτηση από <https://www.britannica.com/technology/machine-learning>
- ICM, J. H. (χ.χ.). *Institute for Computational Medicine*. Ανάκτηση από <https://icm.jhu.edu/research-areas-2/computational-anatomy/>
- John et al, D. M. (2011). *Protein dynamics and enzyme catalysis: Insights from simulations*, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)* . Proteins and Proteomics, Volume 1814, Issue 8, 2011, Pages 1077-1092.
- Juliani, A. (2019, 10 31). <https://medium.com/>. Ανάκτηση από [https://awjuliani.medium.com/the-present-in-terms-of-the-future-successor-representations-in-reinforcement-learning-316b78c5fa3#:~:text=The%20successor%20representation%20is%20the,\(s\)%20%3D%20a\).](https://awjuliani.medium.com/the-present-in-terms-of-the-future-successor-representations-in-reinforcement-learning-316b78c5fa3#:~:text=The%20successor%20representation%20is%20the,(s)%20%3D%20a).)
- Kriegeskorte & Douglas, P. (2018). Cognitive computational neuroscience. *Nature Neuroscience*, σσ. 21, 1148–1160.
- Kumar & Murgai, A. J. (2019). *Neurological Worsening After Implantable Pulse Generator Replacement* . Can J Neurol Sci. 2019 Sep;46(5):527-532.

- Louis N. Irwin, B. A. (2020). Place and Environment in the Ongoing Evolution of Cognitive Neuroscience. *Journal of Cognitive Neuroscience*, σσ. 32 (10): 1837–1850.
- Menghan et al, J. L. (2019). The Relationship Between Cognitive Abilities and the Decision-Making Process: The Moderating Role of Self-Relevance . *Frontiers in Psychology* , σ. Vol.10.
- Myszczyńska et al, M. O. (2020). *Applications of machine learning to diagnosis and treatment of neurodegenerative diseases*. *Nat Rev Neurol* 16, 440–456.
- Naselaris et al, B. D. (2018). Cognitive Computational Neuroscience: A New Conference for an Emerging Discipline. *Trends in Cognitive Sciences*, σσ. May;22(5):365-367.
- Nolan et al, A. S. (2020). Next-generation sequencing and computational modeling identifies the genomic signature of isotretinoin in acne patients. *Journal of Investigative Dermatology*, Volume 140, Issue 7, Supplement, 2020,, σ. 117.
- Posner & DiGirolamo, G. J. (2000). Cognitive neuroscience: Origins and promise . *Psychological Bulletin* , σσ. 126(6), 873–889.
- Powell et al, T. M. (1975). *Spatial scales of current speed and phytoplankton biomass fluctuations in Lake Tahoe*. *Science* 189 .
- Ren, F. (2019, Apr 23). Influence of Cognitive Neuroscience on Contemporary Philosophy of Science. . *Transl Neurosci*, σσ. 10:37-43.
- Rosenholtz, R. (2020). *Demystifying visual awareness: Peripheral encoding plus limited decision complexity resolve the paradox of rich visual experience and curious perceptual failures*. *Atten Percept Psychophys*. Jun;82(3):901-925.
- Schacter, D. (2011). *Psychology*. Worth Publishers.
- Sergei&Petrovskaya, P. N. (2012). Computational ecology as an emerging scienceInterface . *Focus.*, σσ. 2241–254.
- SGD, S. G. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://sunflowergenome.org/howto-blast/>
- Somers et al, D. C. (1999). Functional MRI reveals spatially specific attentional modulation in human primary visual cortex. . σσ. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(4), 1663–1668.
- Stoewer et al., P. S. (2022, 06 15). Neural network based successor representations to form cognitive maps of space and language. *Scientific Reports volume 12, Article number: 11233* (2022), σσ. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14916-1>.
- Stuart et al, J. R. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach, Third Edition*, . Prentice Hall.
- T coffee, P. M. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.tcoffee.org/Projects/tcoffee/workshops/tcoffeetutorials/protein-alignment.html>
- The Human Memory, L. V. (2021, July 28). Ανάκτηση από <https://human-memory.net/>

- Thomas et al, C. F. (1998). *Isolating the components of activity-density for the carabid beetle *Pterostichus melanarius* in farmland*. . *Oecologia* 116, 103–112 .
- Trappenberg, T. (2010). *Fundamentals of Computational Neuroscience*. United Kingdom: OUP Oxford.
- Üna& Papafragoul, E. A. (2020). *Relations Between Language and Cognition: Evidentiality and Sources of Knowledge*. *Topics in cognitive science*, 12(1), 115–135.
- Vieilledent et al., C. B.-F. (2010). *Individual variability in tree allometry determines light resource allocation in forest ecosystems: a hierarchical Bayesian approach*. . *Oecologia* 163, 759–773.
- Weber & Sprekeler, S. N. (2018, 02 21). Learning place cells, grid cells and invariances with excitatory and inhibitory plasticity. *eLife* 7:e34560.
<https://doi.org/10.7554/eLife.34560>.
- Wei-Jie Yap et al, B. C.-y. (2019). *Cultural Attachment: From Behavior to Computational Neuroscience* . *Frontiers in Human Neuroscience* 13:209.
- Yamanaka, T. (χ.χ.). *An individual-based model for sex-pheromone-oriented flight patterns of male moths*. AICME II abstracts Individual-Based Spatial Simulations of Ecological Systems.
- Ανδρικοπούλου, Ε. (2011). *Ανάπτυξη προγραμματιστικού περιβάλλοντος για την μελέτη ασύγχρονων νευρωνικών δικτύων*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Ανωγειανάκης, Γ. (2016). *Φυσιολογία II, Το νευρικό σύστημα* . Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Δάλλα, Χ. (2018). *Νευροδιαβιβαστικά συστήματα, σημειώσεις μαθήματος χημικής και μοριακής νευροανατομίας*. Αθήνα: Ιατρική Σχολή ΕΚΠΑ.
- Νικολάου, Χ. κ. (2015). *Υπολογιστική Βιολογία*. Πανεπιστήμιο Κρήτης, ISBN 978-960-603-124-3.
- Τζελέπη, Ε. (2014, 12 01). *Θέματα ψυχολογίας, Η λειτουργία της μνήμης*. Ανάκτηση από <http://psychologynet.gr/>
- Τζόνσον, Ε. (2015). *Νευροανατομία, Εισαγωγή και ανασκόπηση, διαλέξεις εργαστηρίου ανατομίας Ιατρικής*. Αθήνα: Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Χατζηκάλφας, Α. (2020, 01 17). *Υgeiamou*. Ανάκτηση από <https://www.ygeiamou.gr/blogs/dbs-i-techniki-emfitefsis-ilektrodion-pou-rithmizi-ta-kiklomata-tou-egkefalou/>