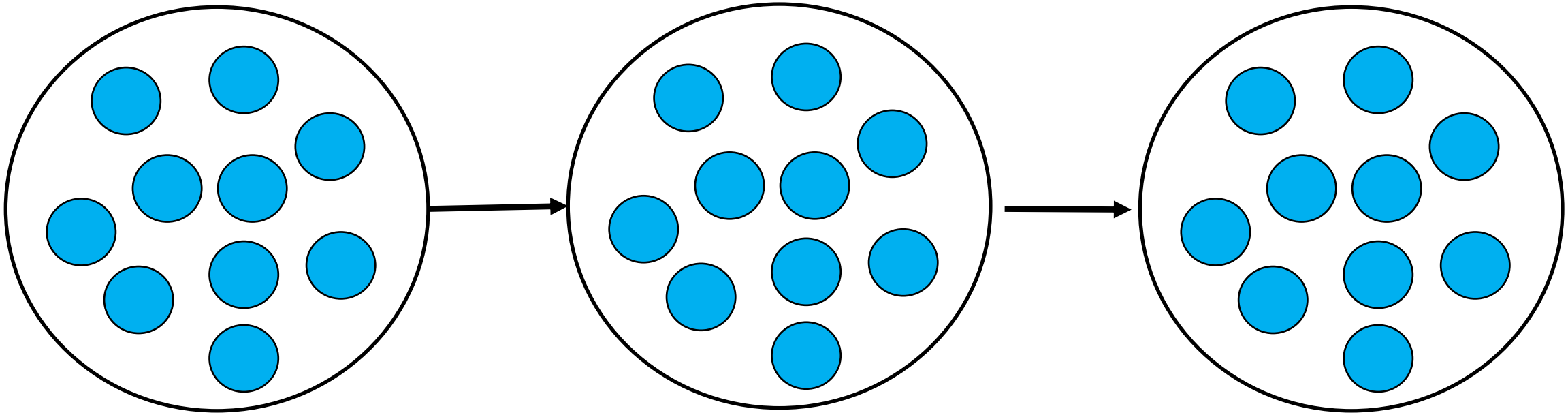
Πανεπιστήμιο Κρήτης
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Μια σύντομη αντιπαραβολή της εξέλιξης της ζωής με την εξέλιξη των γλωσσών

Μανόλης Λαδουκάκης
Τμήμα Βιολογίας

Ομοιότητες (μερικές) των δύο συστημάτων

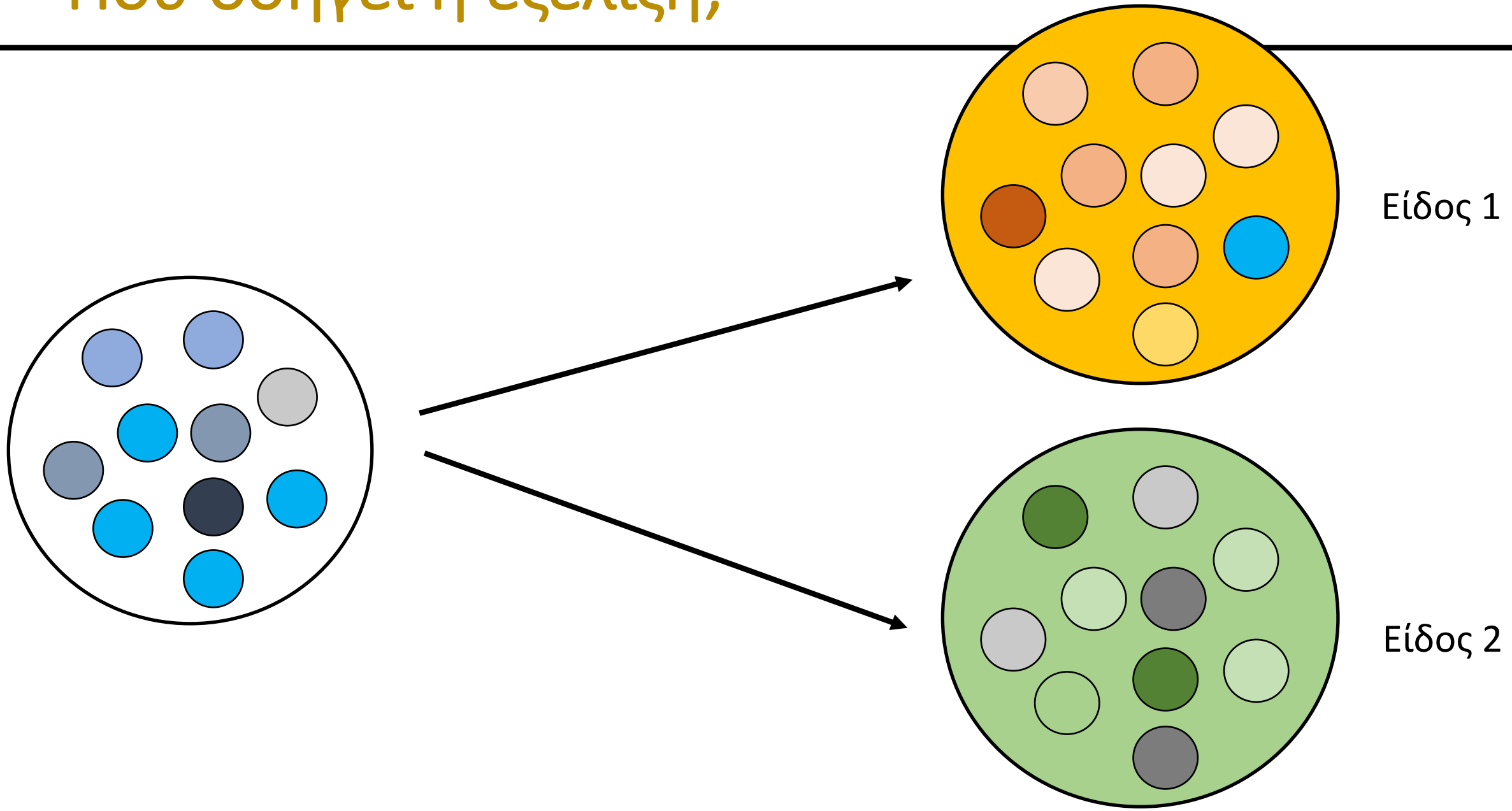


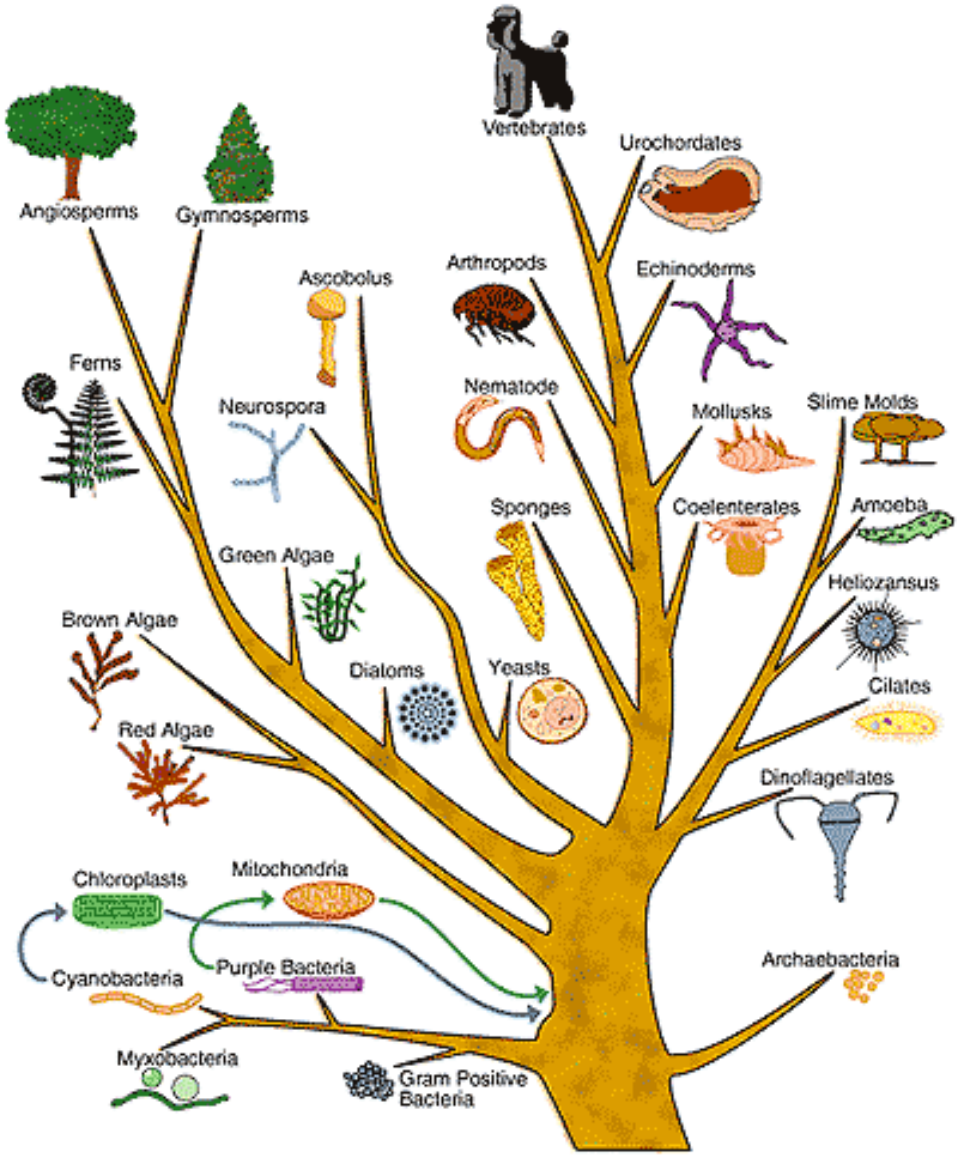
-αποτελούνται από «άτομα»,
-πληθυσμούς ατόμων
-τα άτομα έχουν χαρακτηριστικά που κληρονομούνται
-υπάρχουν γενιές που διαδέχονται η μία την άλλη στο χρόνο
-αυτά τα χαρακτηριστικά τα οδηγούν στην εξέλιξη-αλλαγή

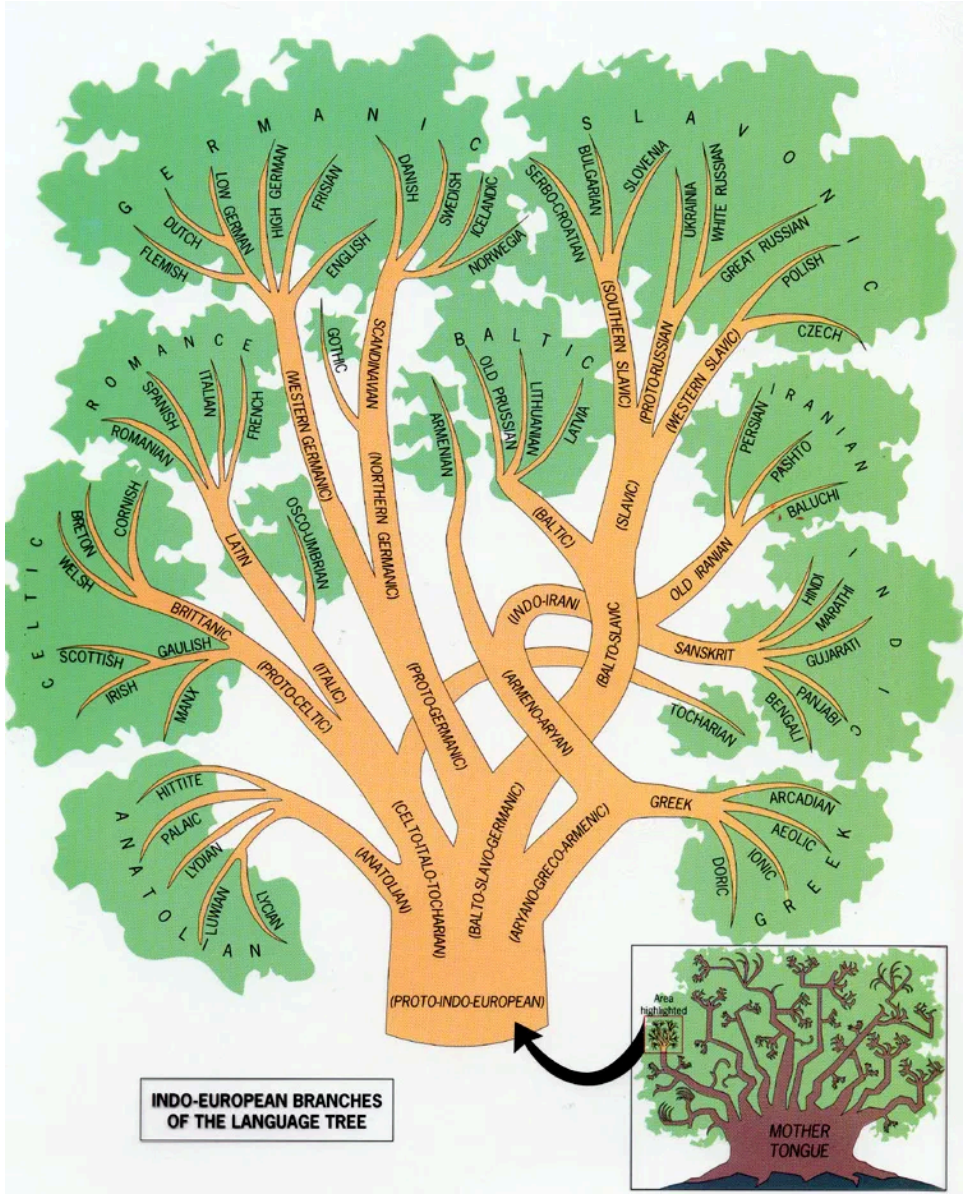
Εξέλιξη

Εξέλιξη είναι η αλλαγή στις κληρονομούμενες ιδιότητες των πληθυσμών

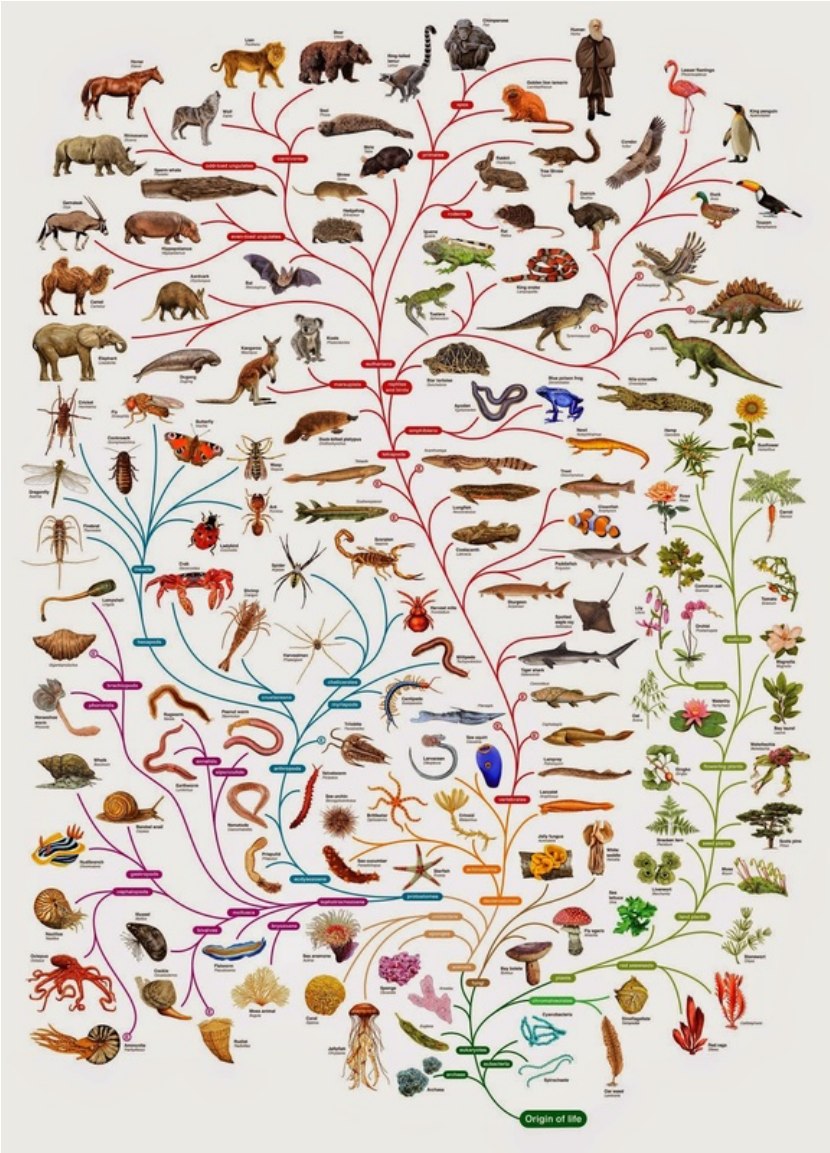
Που οδηγεί η εξέλιξη;

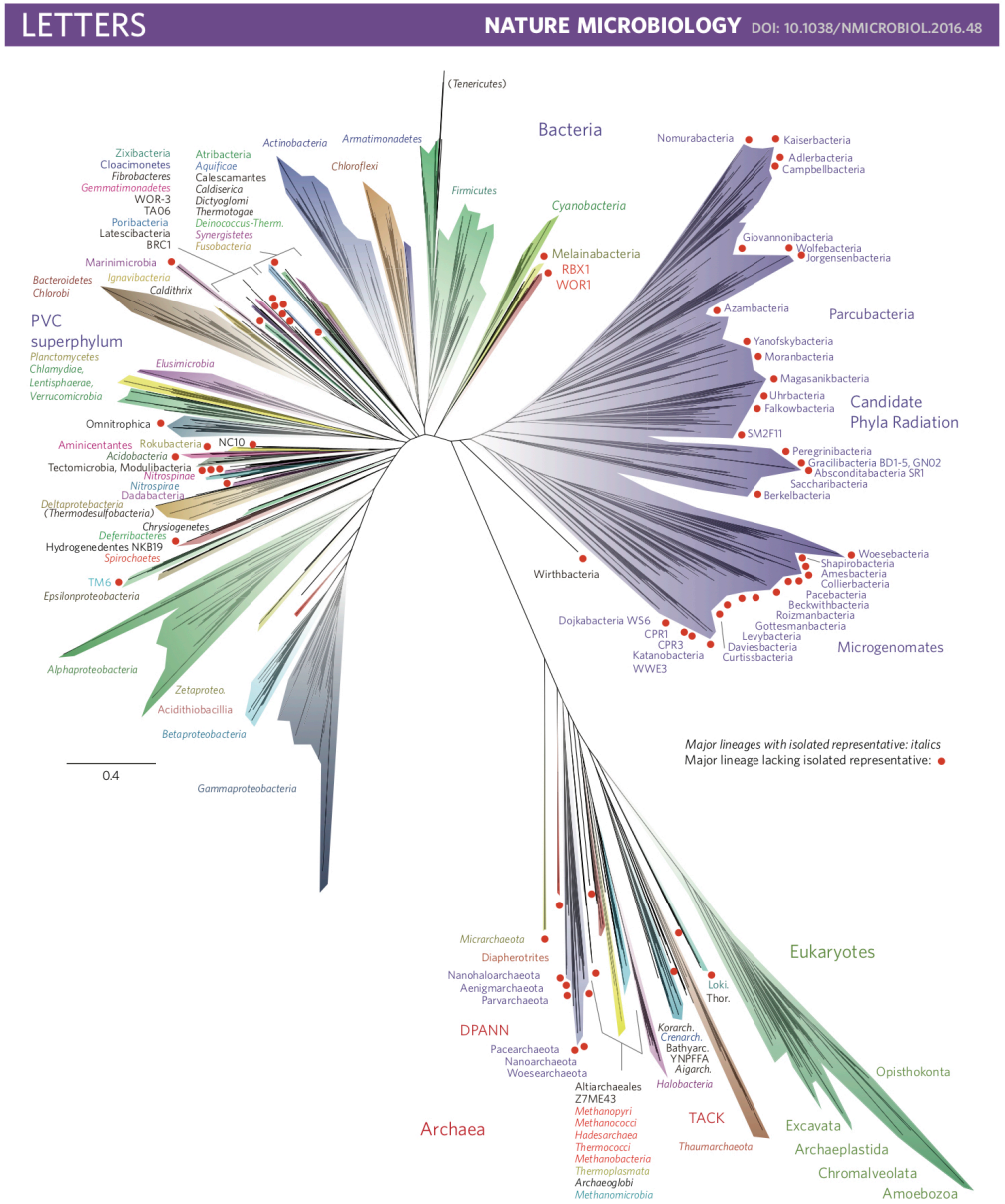



Vertebrates
Urochordates
Angiosperms
Gymnosperms
Ascobolus
Arthropods
Echinoderms
Ferns
Neurospora
Nematode
Mollusks
Slime Molds
Sponges
Coelenterates
Amoeba
Green Algae
Heliozansus
Brown Algae
Dialoms
Yeasts
Cilates
Red Algae
Dinoflagellates
Chloroplasts
Mitochondria
Cyanobacteria
Purple Bacteria
Archaebacteria
Myxobacteria
Gram Positive Bacteria

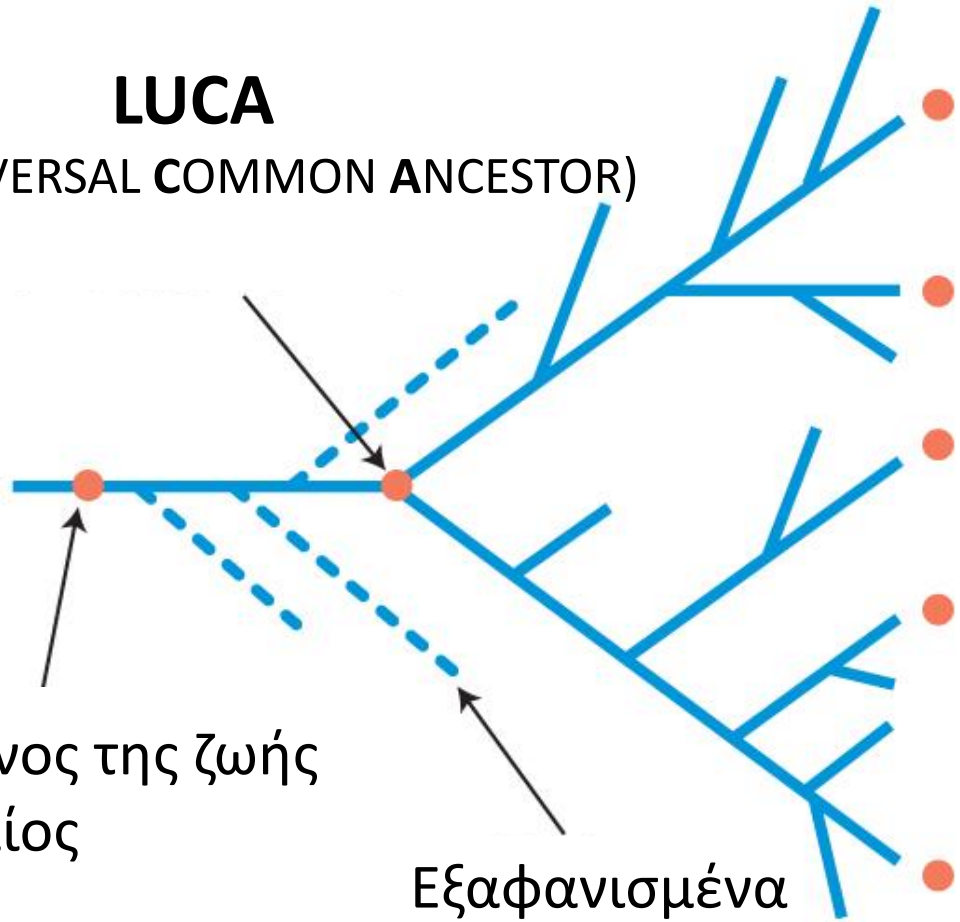

GERMANIC
SLAVONIC
ROMANCE
BALTIC
CELTIC
IRANIAN
INDIC
ANATOLIAN
GREEK
DUTCH
FLEMISH
LOW GERMAN
HIGH GERMAN
FRISIAN
ENGLISH
DANISH
SWEDISH
ICELANDIC
NORWEGIAN
SERBO-CROATIAN
BULGARIAN
SLOVENIA
UKRAINIA
WHITE RUSSIAN
GREAT RUSSIAN
POLISH
CZECH
ROMANIAN
SPANISH
ITALIAN
FRENCH
GOTHIC
SCANDINAVIAN
ARMENIAN
OLD PRUSSIAN
LITHUANIAN
LATVIA
(SOUTHERN SLAVIC)
(PROTO-RUSSIAN)
(WESTERN SLAVIC)
PERSIAN
PASHTO
BALUCHI
CORNISH
BRETON
WELSH
LATIN
OSCO-UMBRIAN
(WESTERN GERMANIC)
(NORTHERN GERMANIC)
(BALTIC)
(SLAVIC)
OLD IRANIAN
(INDO-IRAN)
(BALTO-SLAVIC)
HINDI
MARATHI
GUJARATI
PANJABI
BENGALI
SANSKRIT
TOCHARIAN
BRITTANIC
GAULISH
SCOTTISH
IRISH
MANX
(PROTO-CELTIC)
(ITALIC)
(PROTO-GERMANIC)
(ARMENO-ARYAN)
HITTITE
PALAIC
LYDIAN
LUWIAN
LYCIAN
(ANATOLIAN)
(CELTO-ITALO-TOCHARIAN)
(BALTO-SLAVO-GERMANIC)
(ARYANO-GRECO-ARMENIC)
GREEK
ARCADIAN
AEOLIC
IONIC
DORIC
(PROTO-INDO-EUROPEAN)
Area highlighted
MOTHER TONGUE
INDO-EUROPEAN BRANCHES OF THE LANGUAGE TREE

Η ζωή σαν θαύμα





Η ζωή έχει κοινή καταγωγή



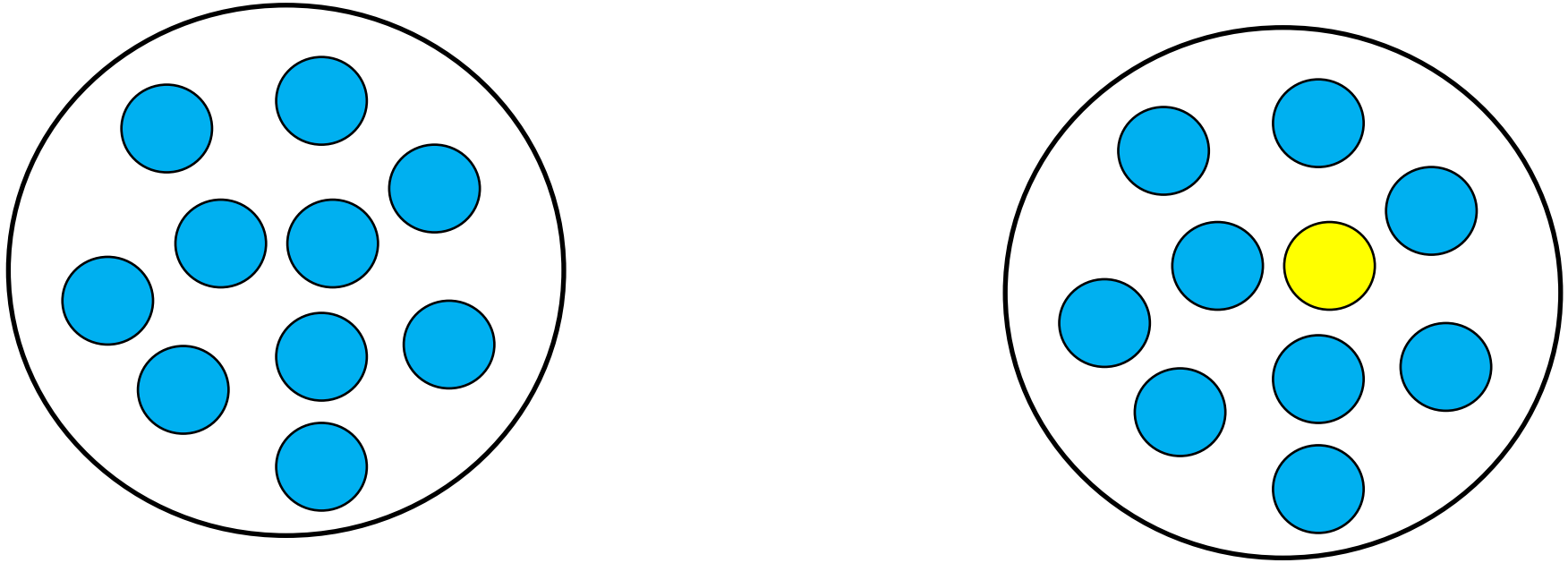
Η ζωή έχει κοινή καταγωγή

Γενικά κοινά χαρακτηριστικά

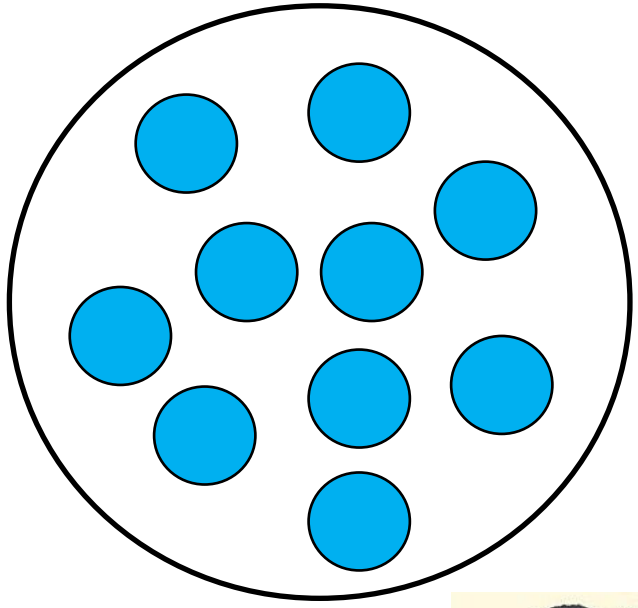
- Κυτταρική οργάνωση
- Τριγράμματος γενετικός κώδικας
- 20 βασικά αμινοξέα
- Μετάφραση της γενετικής πληροφορίας
- Κοινά βιοχημικά μονοπάτια

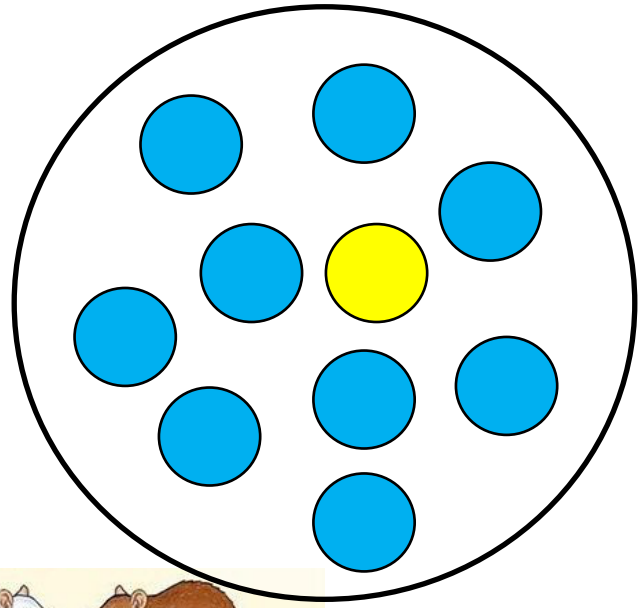
……

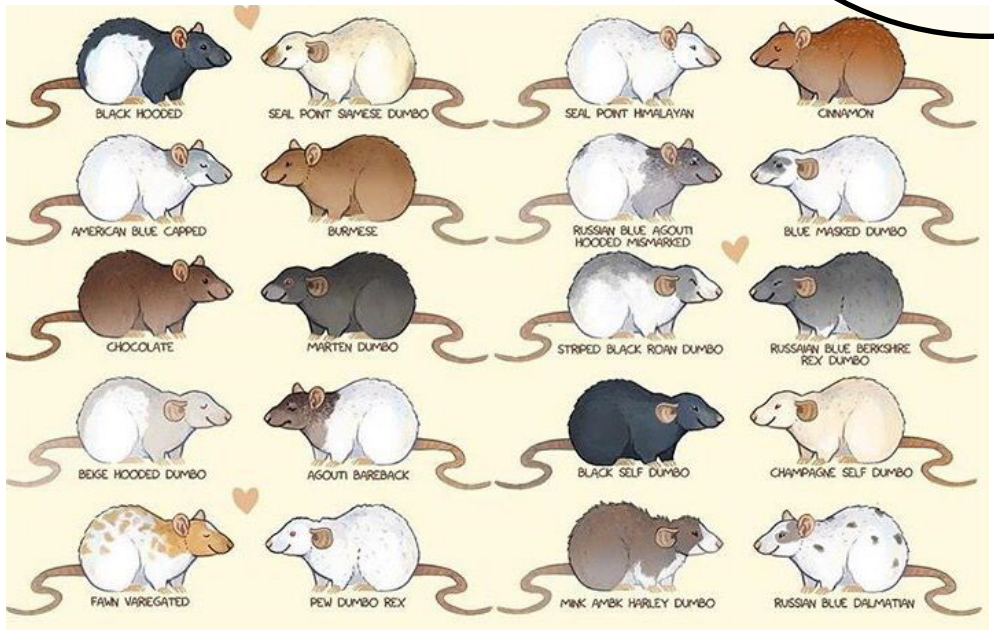
Ποικιλοποίηση της ζωής: Μετάλλαξη



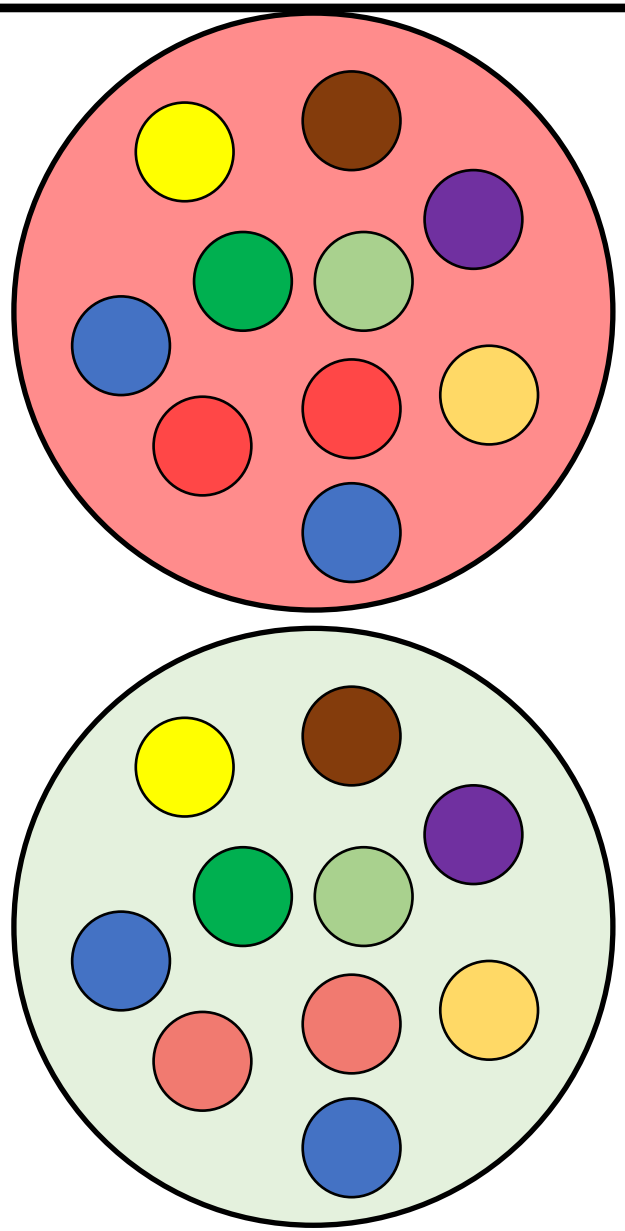
Ποικιλοποίηση της ζωής: Μετάλλαξη



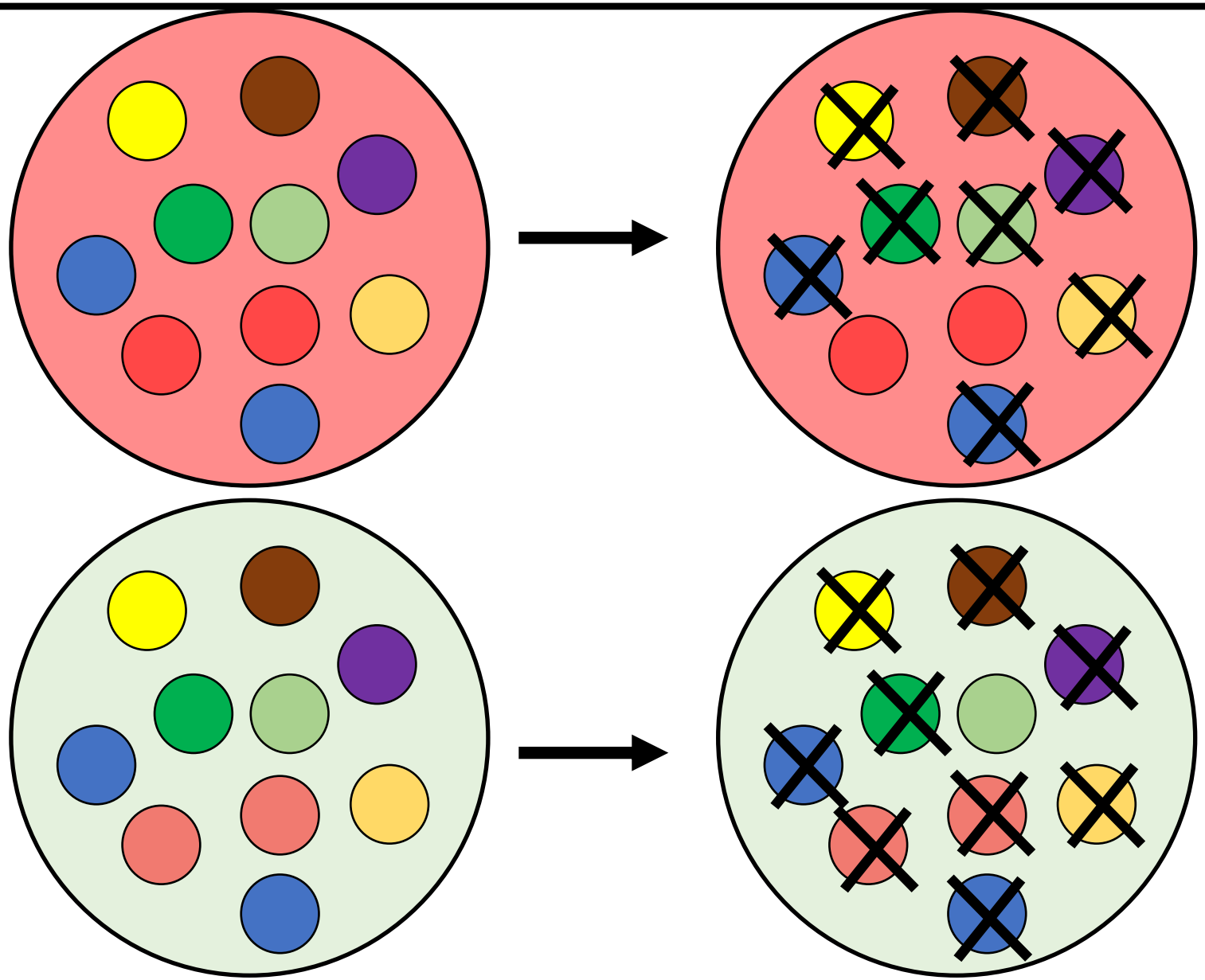




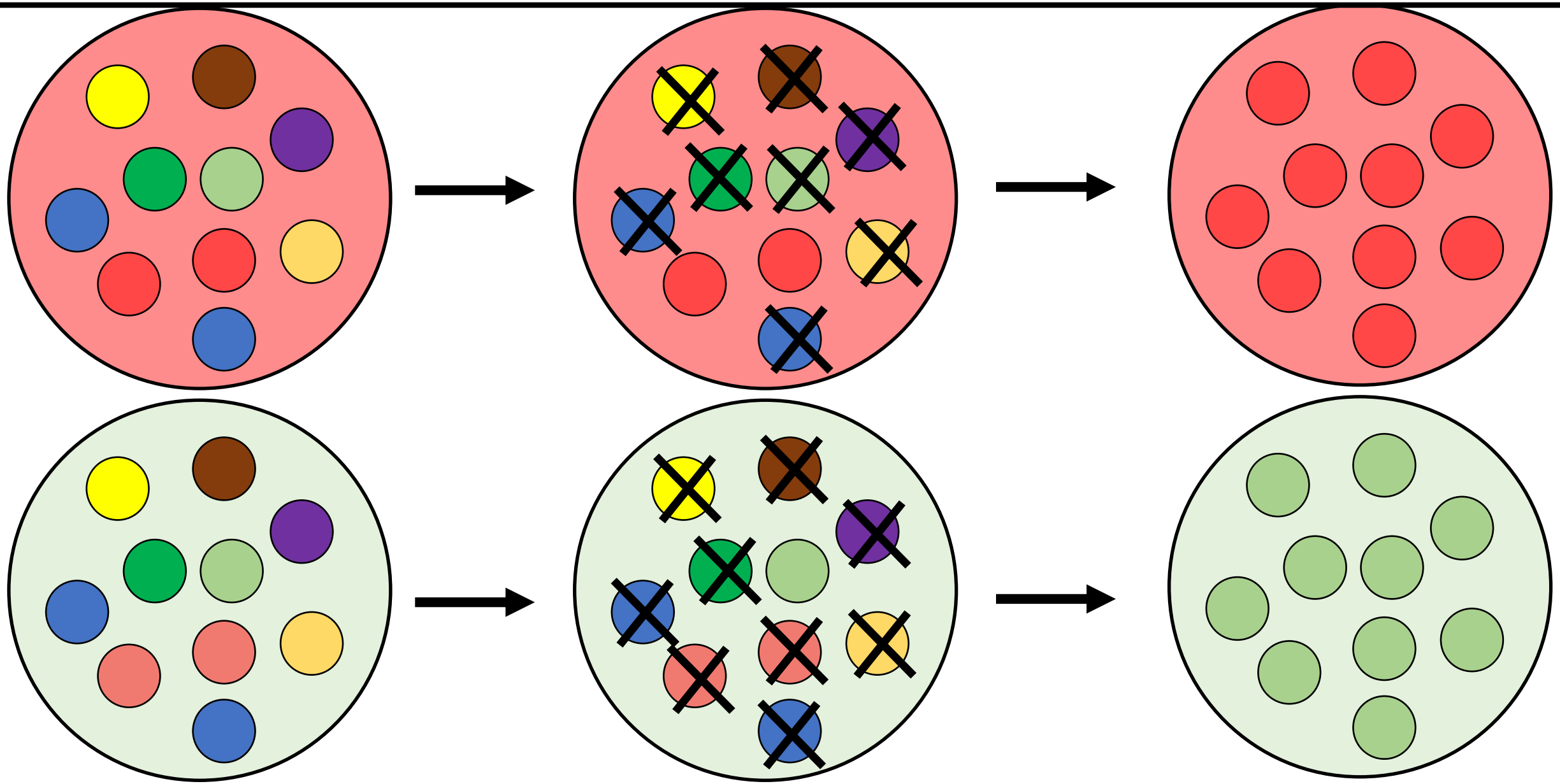
Ποικιλοποίηση της ζωής: Φυσική επιλογή



Ποικιλοποίηση της ζωής: Φυσική επιλογή

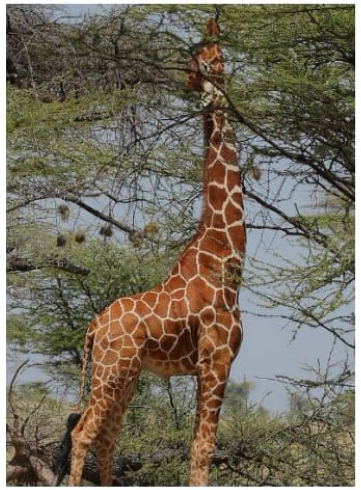


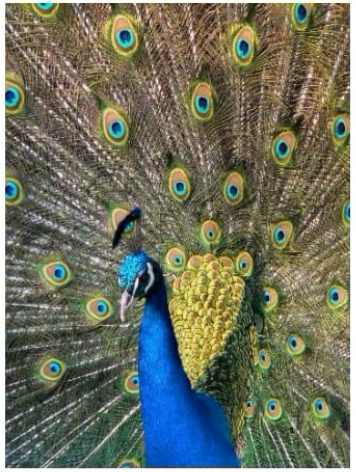
Ποικιλοποίηση της ζωής: Φυσική επιλογή



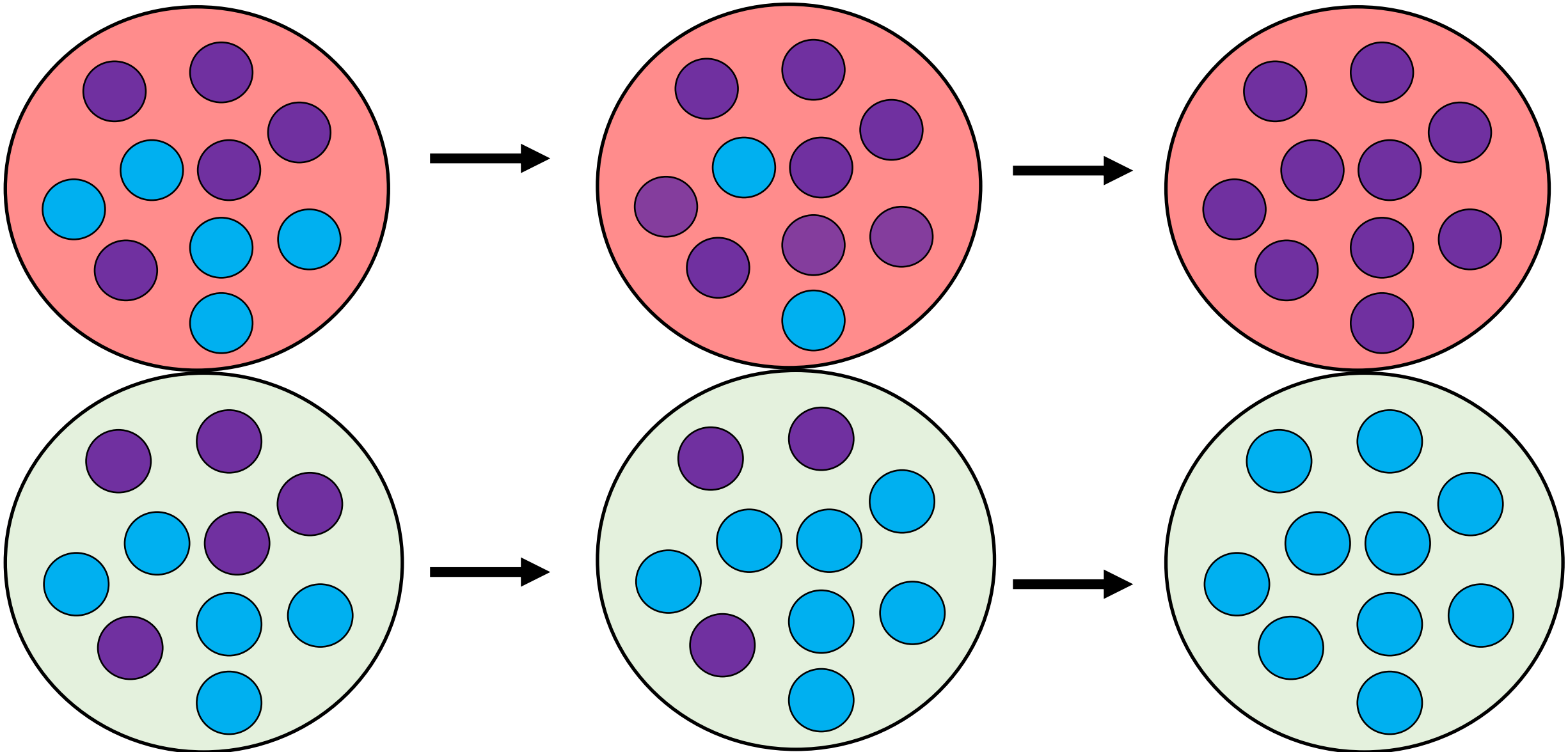
Ποικιλοποίηση της ζωής: Φυσική επιλογή

Προσαρμογές

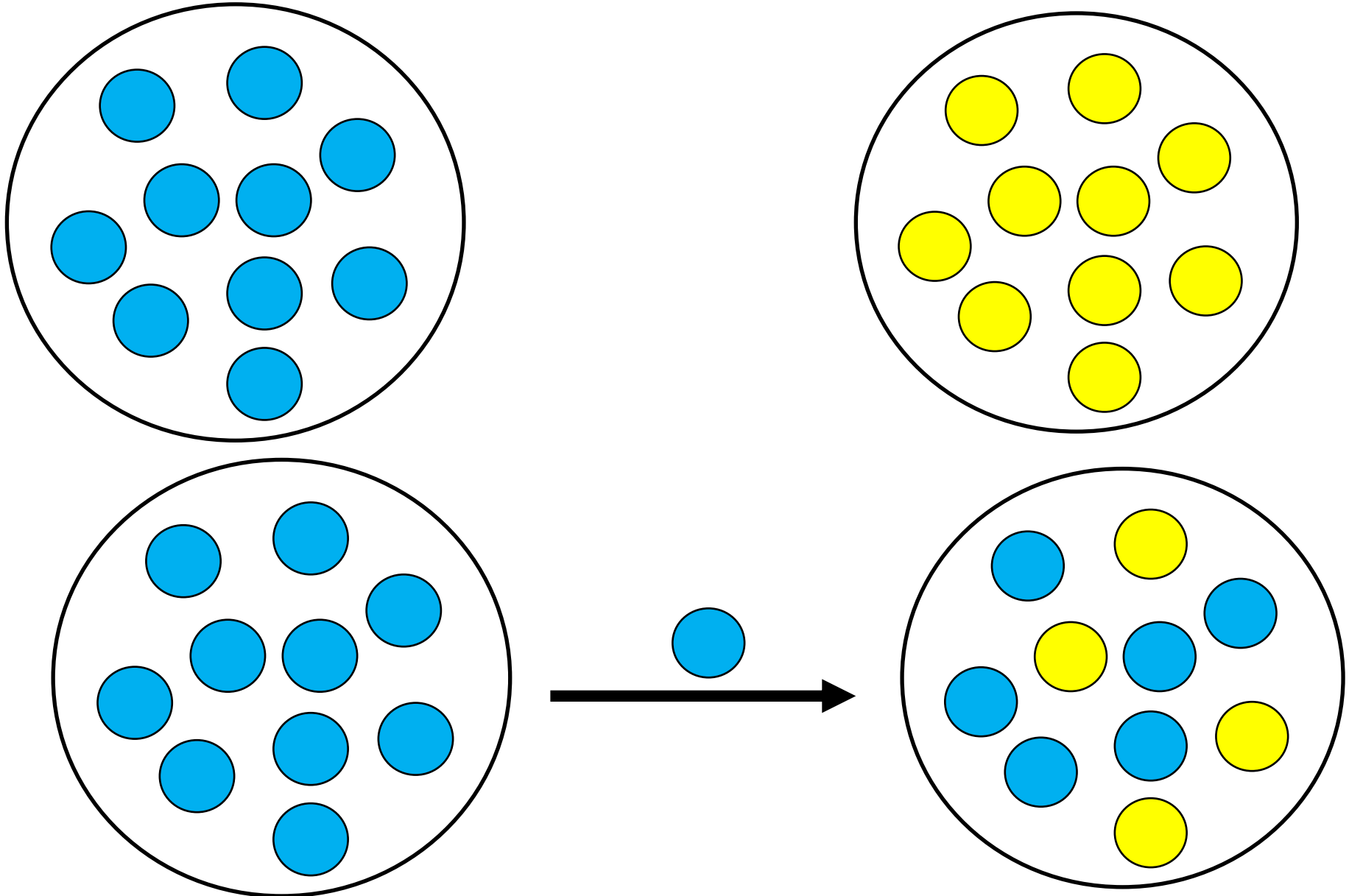




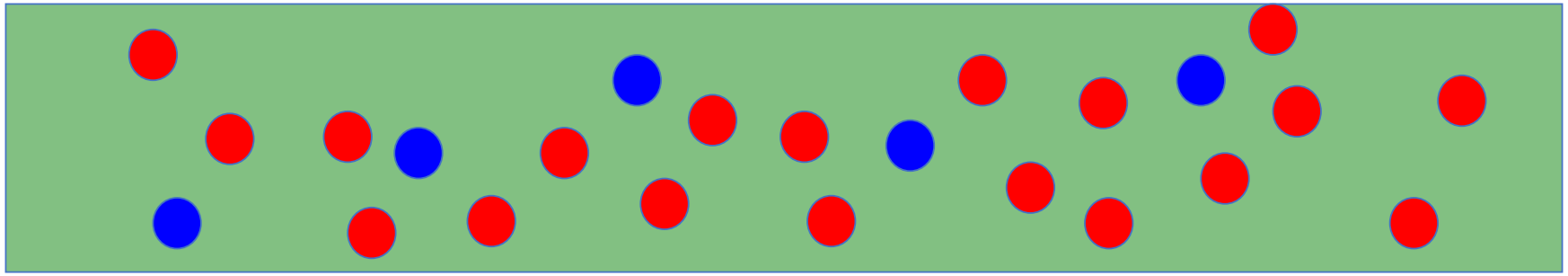
Ποικιλοποίηση της ζωής: Τυχαία Γενετική Παρέκκλιση



Ποικιλοποίηση της ζωής: Μετανάστευση



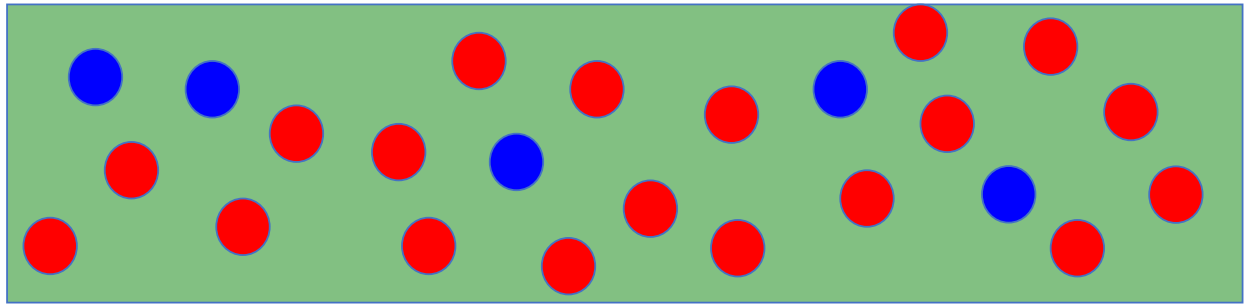
Πληθυσμός



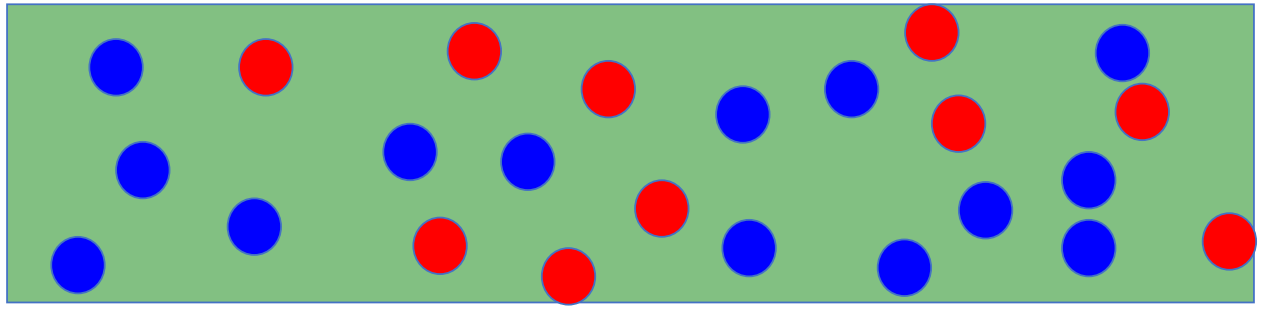
Μια ομάδα ατόμων που ανταλλάσσουν ελεύθερα γενετικό υλικό

Πληθυσμός

Πληθυσμός 1

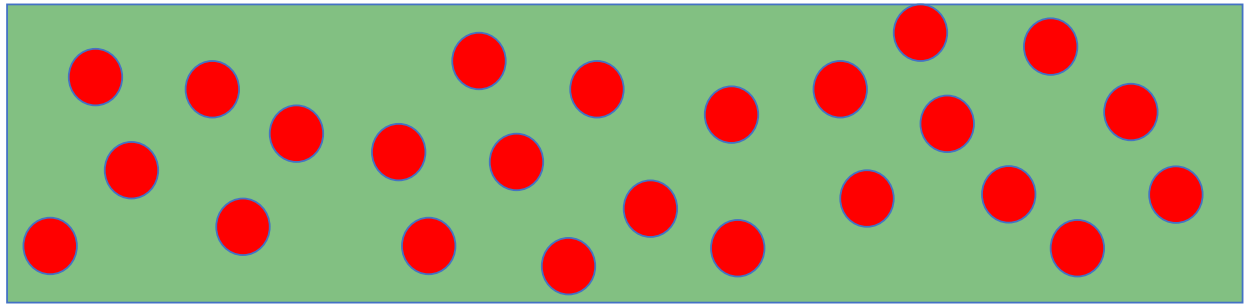


Πληθυσμός 2

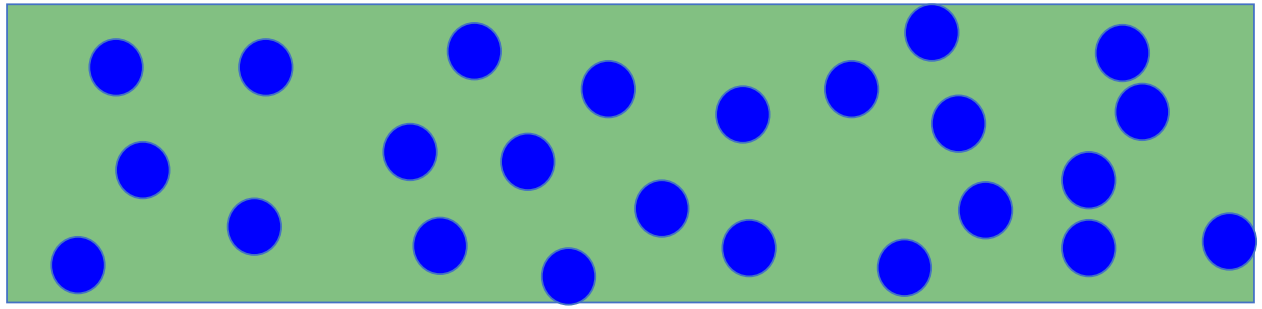


Είδη

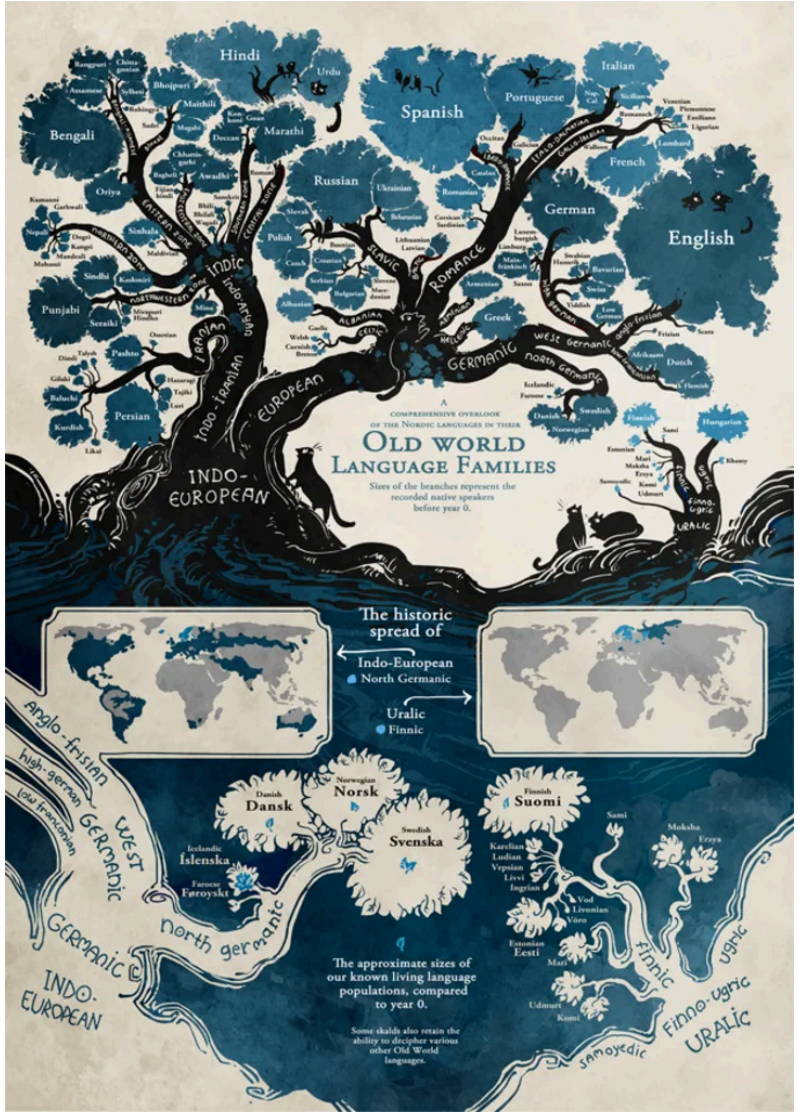
Είδος 1



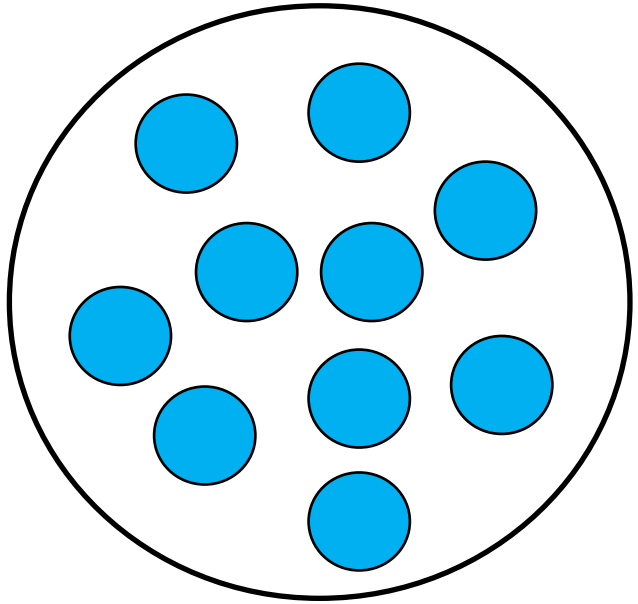
Είδος 2

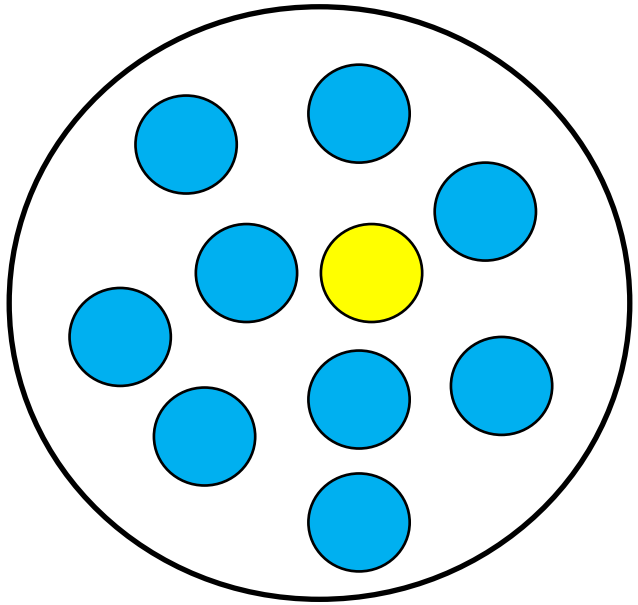


Οι γλώσσες εξελίσσονται



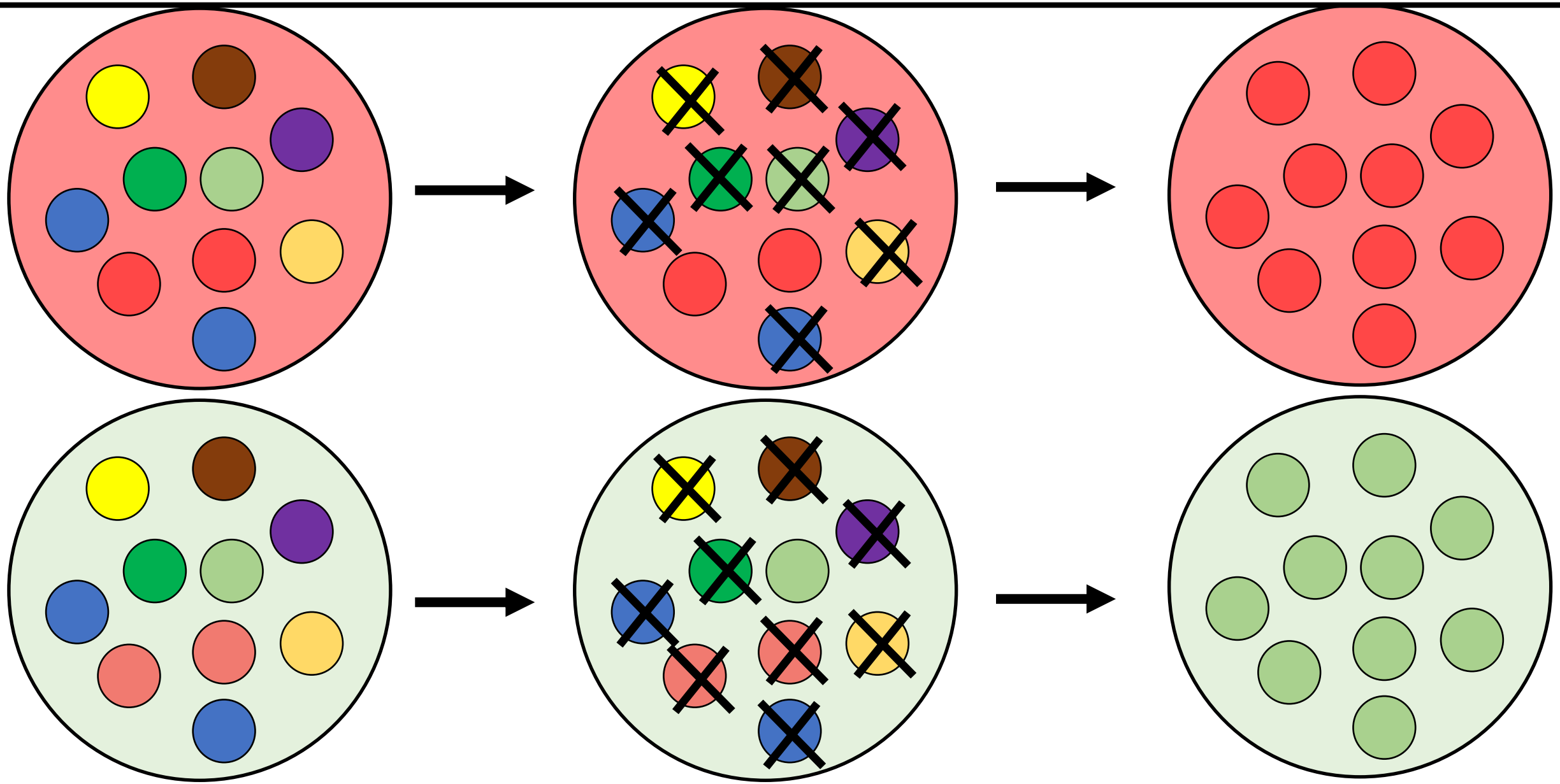
Εξέλιξη γλωσσών: Δημιουργία ποικιλομορφίας





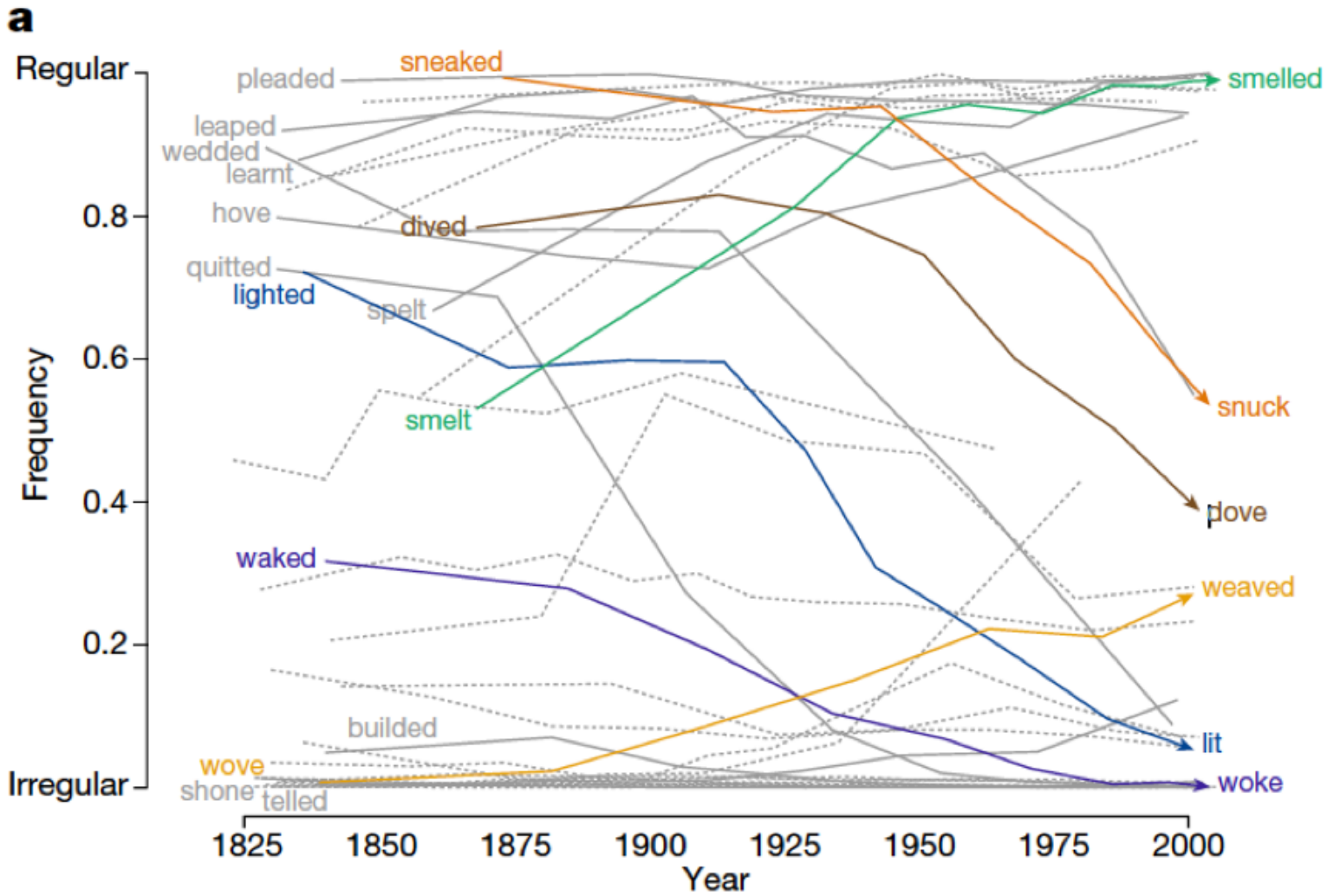
- Actuation problem?
- Innovation

Εξέλιξη γλωσσών: επιλογή



Εξέλιξη γλωσσών: επιλογή

Ανωμαλοποίηση ή ομαλοποίηση ρημάτων

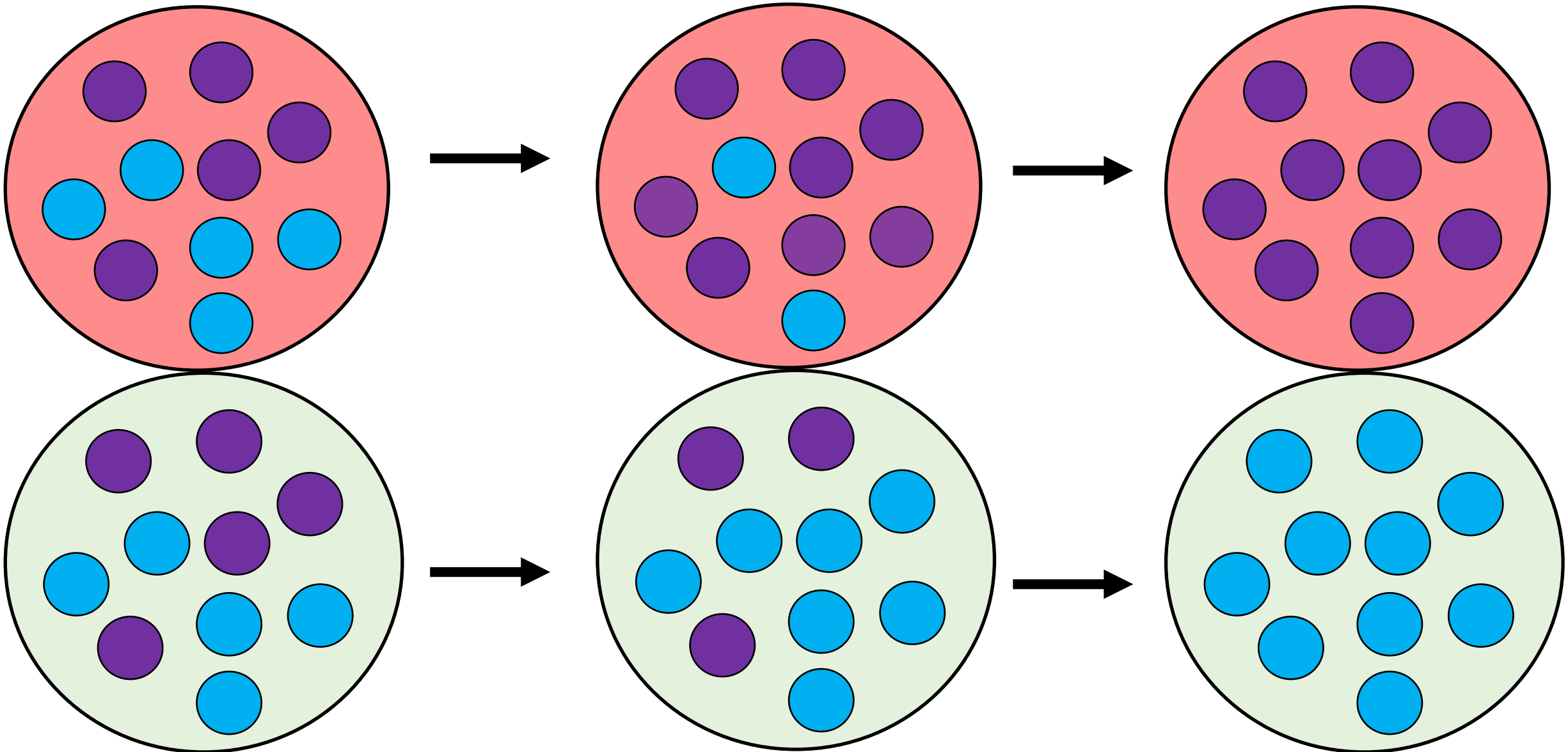


Dive-Dived-Dove

Drive Drove

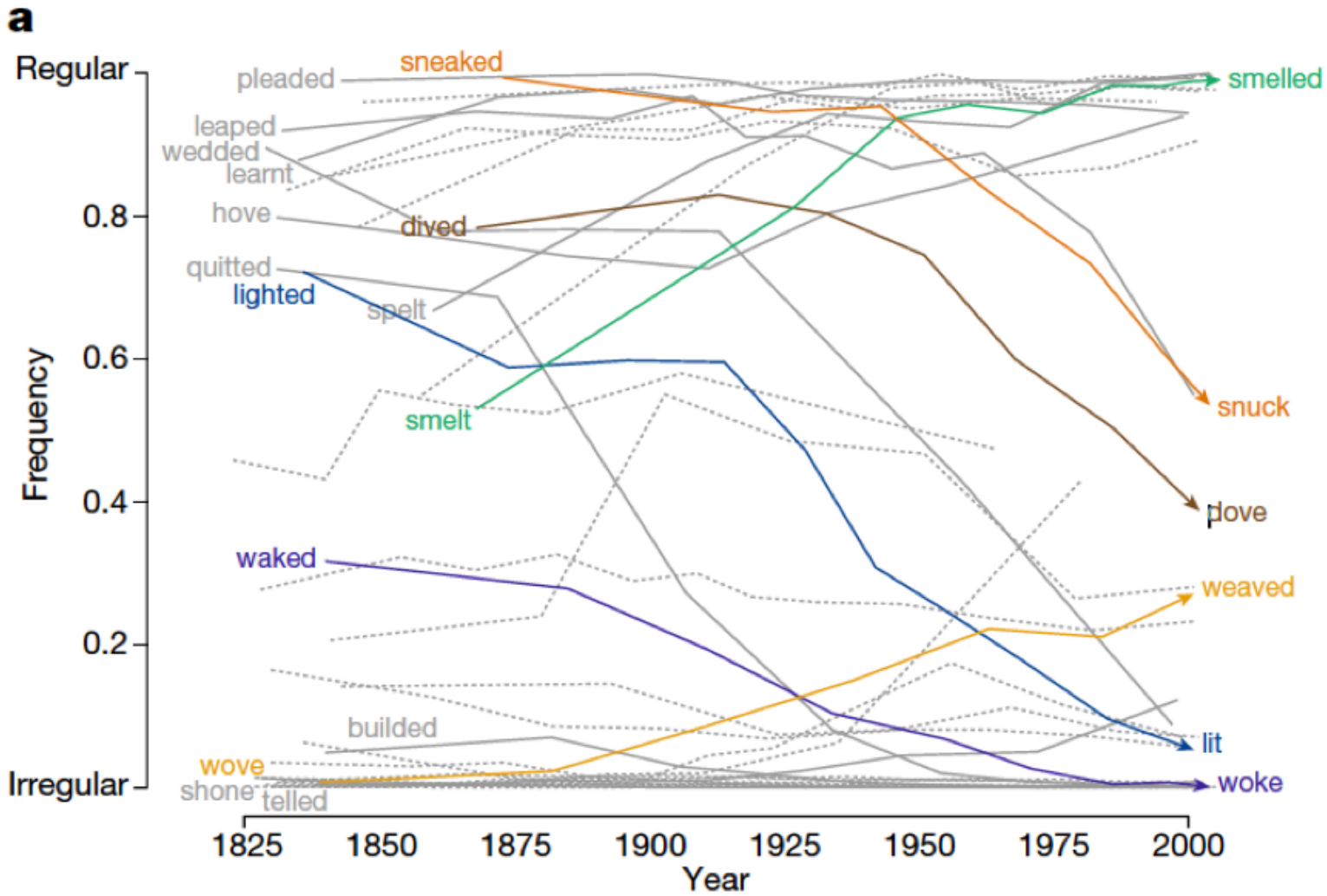
Newberry et al 2017 Nature

Εξέλιξη γλωσσών: Τυχαιότητα



Εξέλιξη γλωσσών: Τυχαιότητα

Ανωμαλοποίηση ή ομαλοποίηση ρημάτων

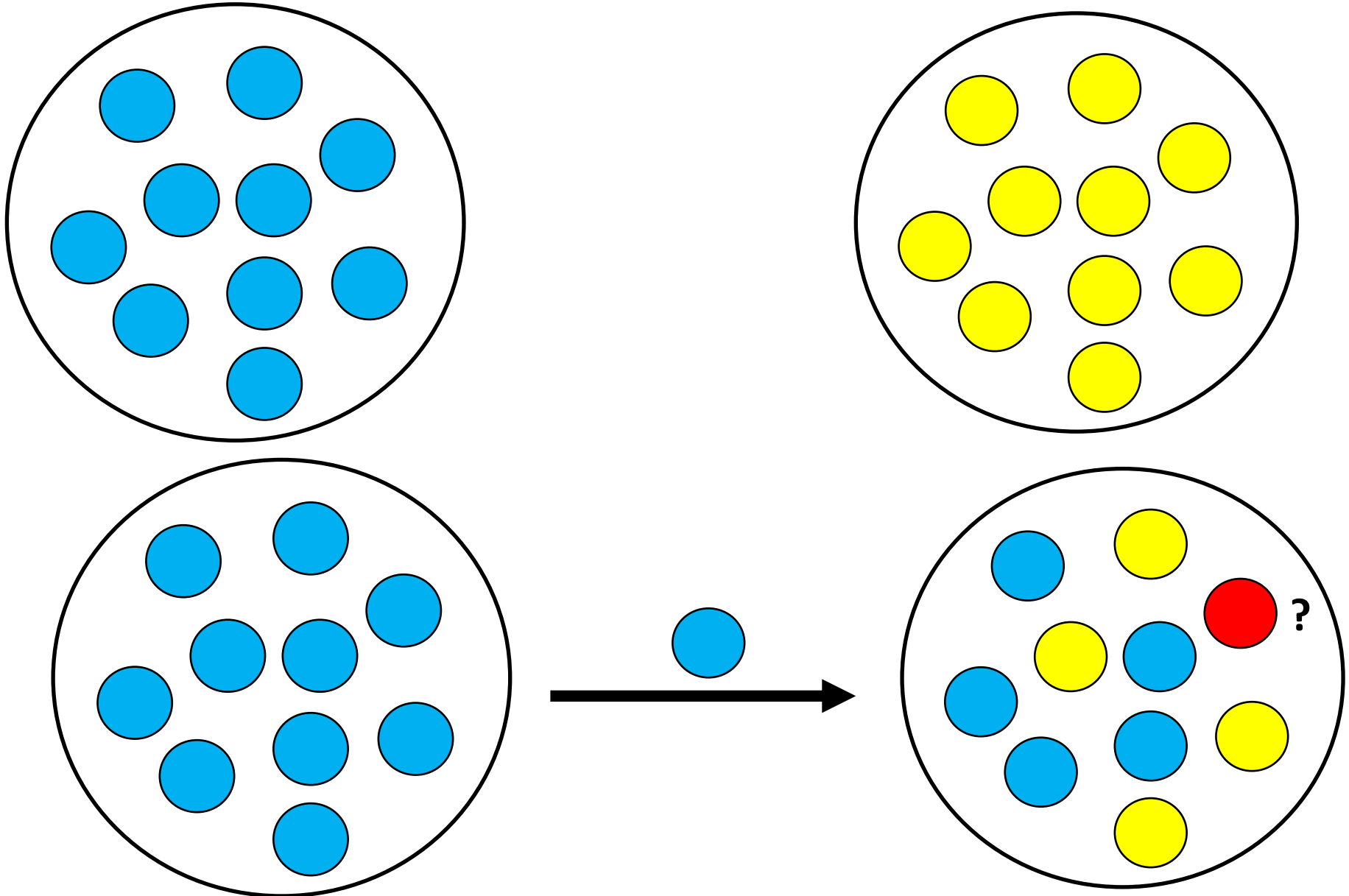


Dive-Dived-Dove

Drive Drove

Newberry et al 2017 Nature

Εξέλιξη γλωσσών: Γλωσσική επαφή



Διαφορές (μερικές) των δύο συστημάτων

Έννοια	Βιολογία	Γλωσσολογία
Κληρονόμηση	κάθετη	Κάθετη και οριζόντια
Γονείς	1-2	1-πολλοί
Κληρονόμηση επίκτητων χαρακτηριστικών	όχι	ναι
Ανταλλαγή πληροφορίας	Μεταξύ ειδών όχι	Μεταξύ γλωσσών ναι

Η γλώσσα ως εξελίξιμο σύστημα: θεωρητική προσέγγιση

Εξελίξιμο σύστημα: Πληθυσμός αναπαραγόμενων μονάδων με κληρονομούμενες ιδιότητες

Προσδιορισμός των εννοιών του ατόμου, της μονάδας της πληροφορίας, της επιλογής, του στόχου της επιλογής, της κληρονόμησης των χαρακτήρων (πώς; από ποιους; σε ποιο βαθμό;) κ.ά.

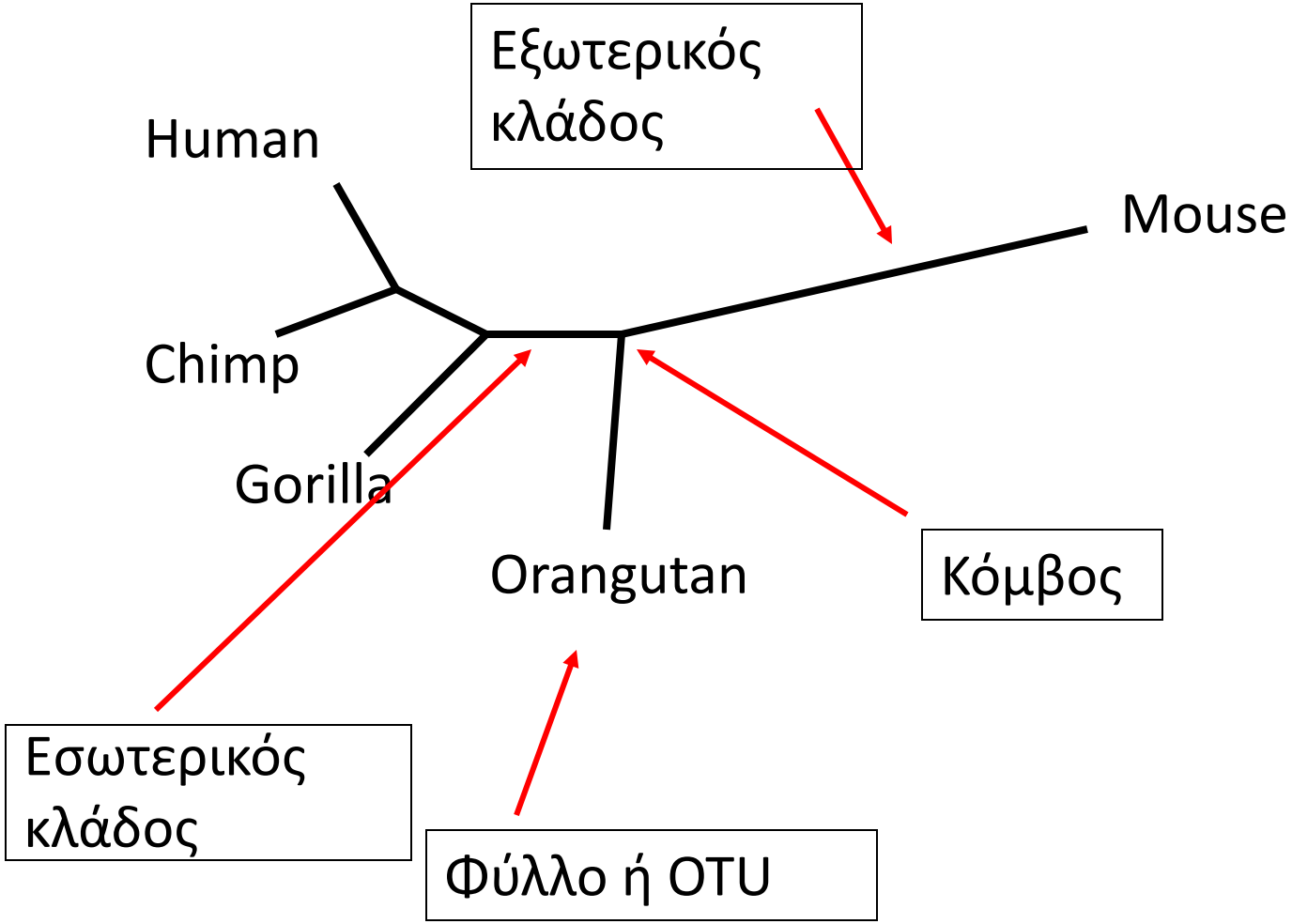
Η γλώσσα ως εξελίξιμο σύστημα: πρακτική προσέγγιση

-Πώς συγκρίνουμε τις γλώσσες;

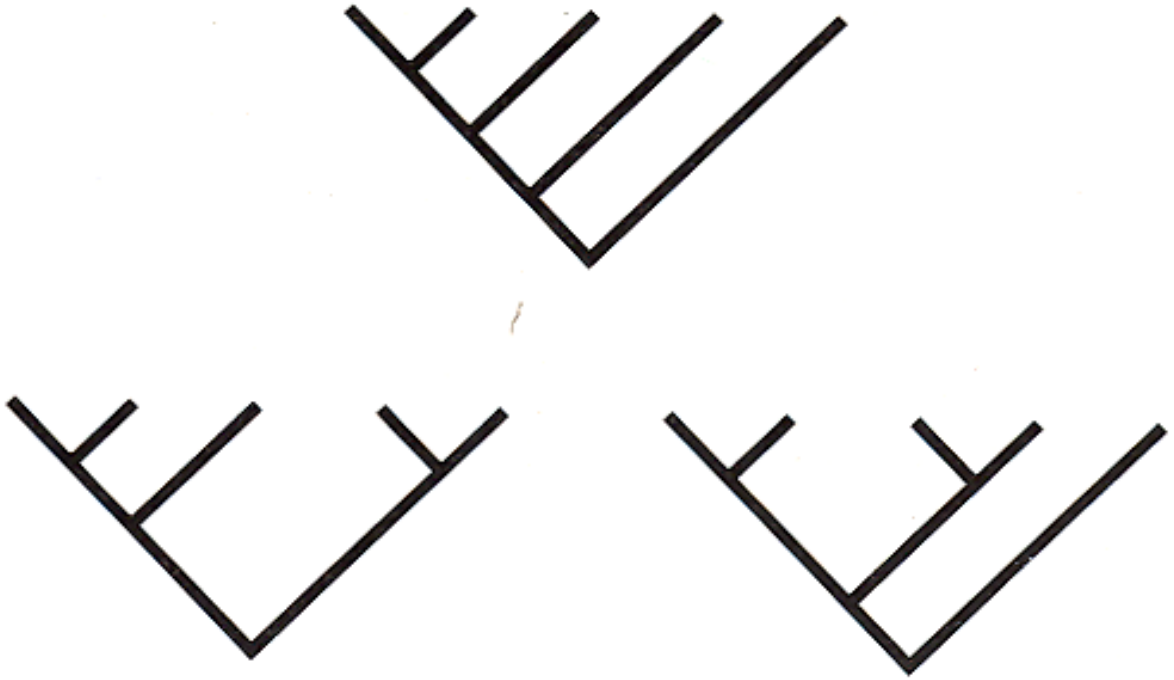
-Ποια δεδομένα και ποιες μεθόδους χρησιμοποιούμε;

-Πολύ συνηθισμένη μέθοδος, δανεισμένη από τη Βιολογία είναι τα δέντρα

Οι εξελικτικές σχέσεις ως δέντρα



Τοπολογία



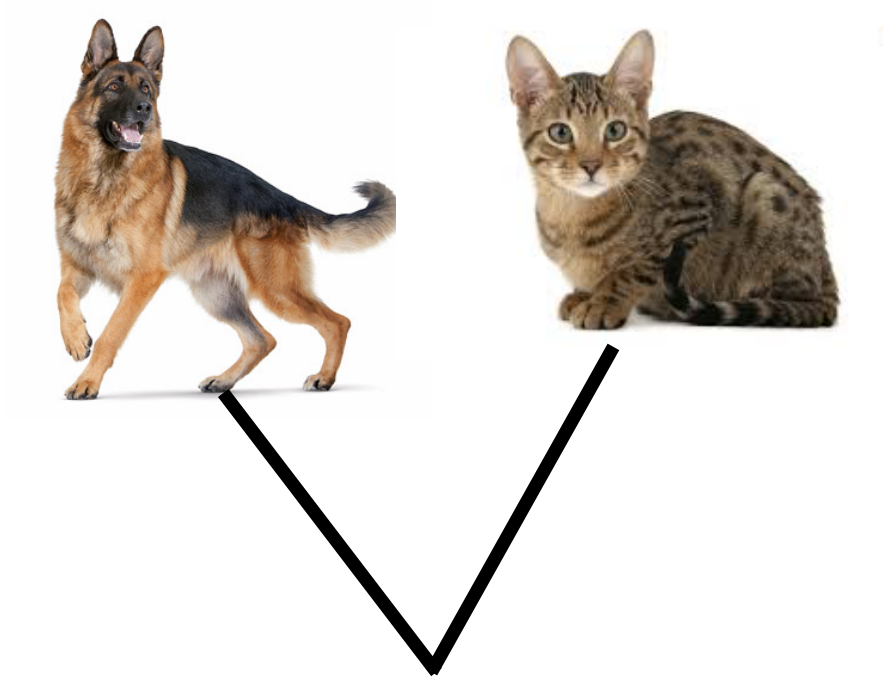
Οι τρεις πιθανές τοπολογίες ενός έρριζου δέντρου 5 αλληλουχιών

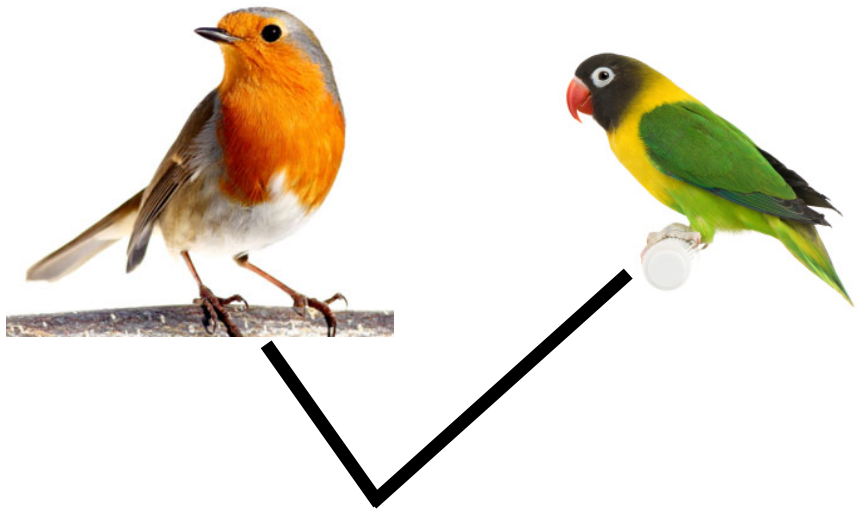
Μέθοδοι αναπαράστασης της εξελικτικής ιστορίας

- Μέθοδοι αποστάσεων (Distance)
- Μέθοδοι φειδολότητας (Parsimony)
- Μέθοδοι μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum likelihood / Bayesian)

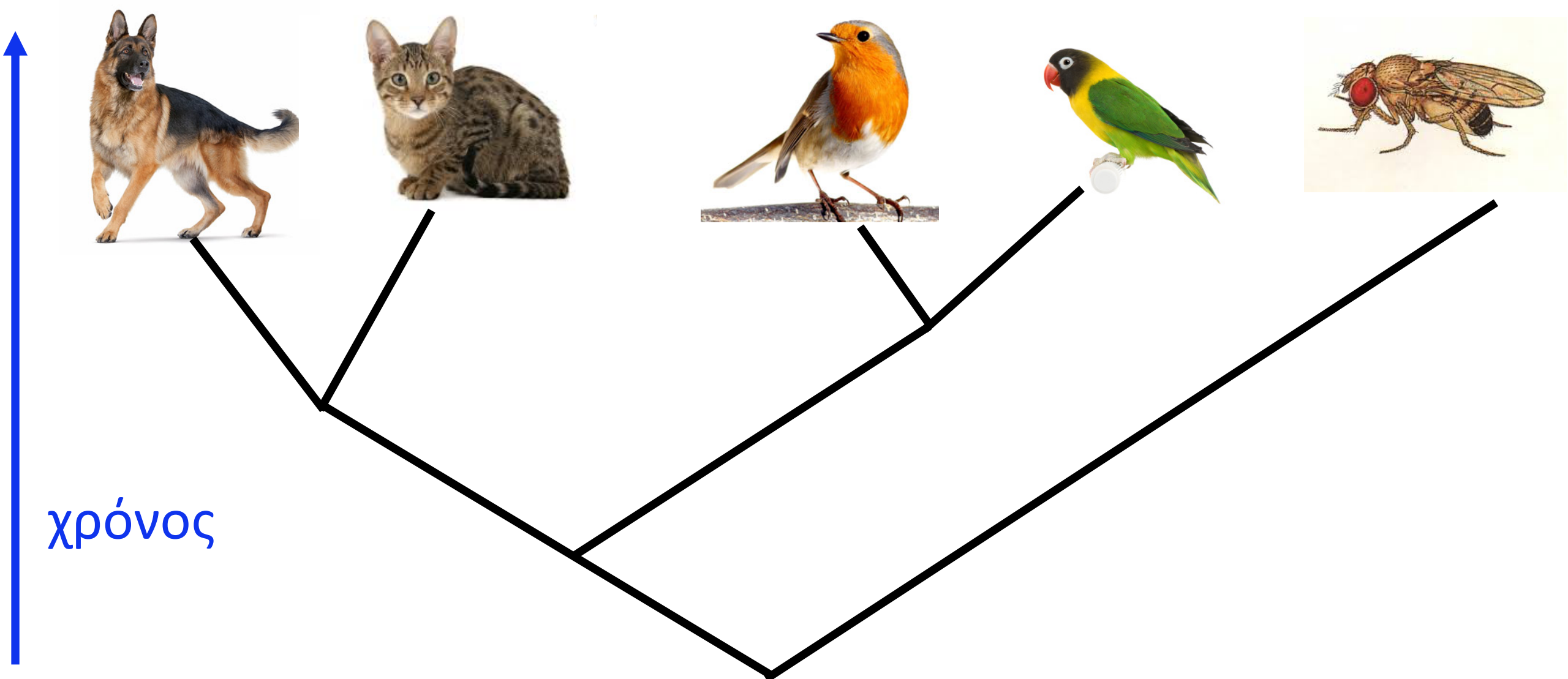
Σχέσεις μεταξύ των οργανισμών

Σχέσεις μεταξύ των οργανισμών





Σχέσεις μεταξύ των οργανισμών



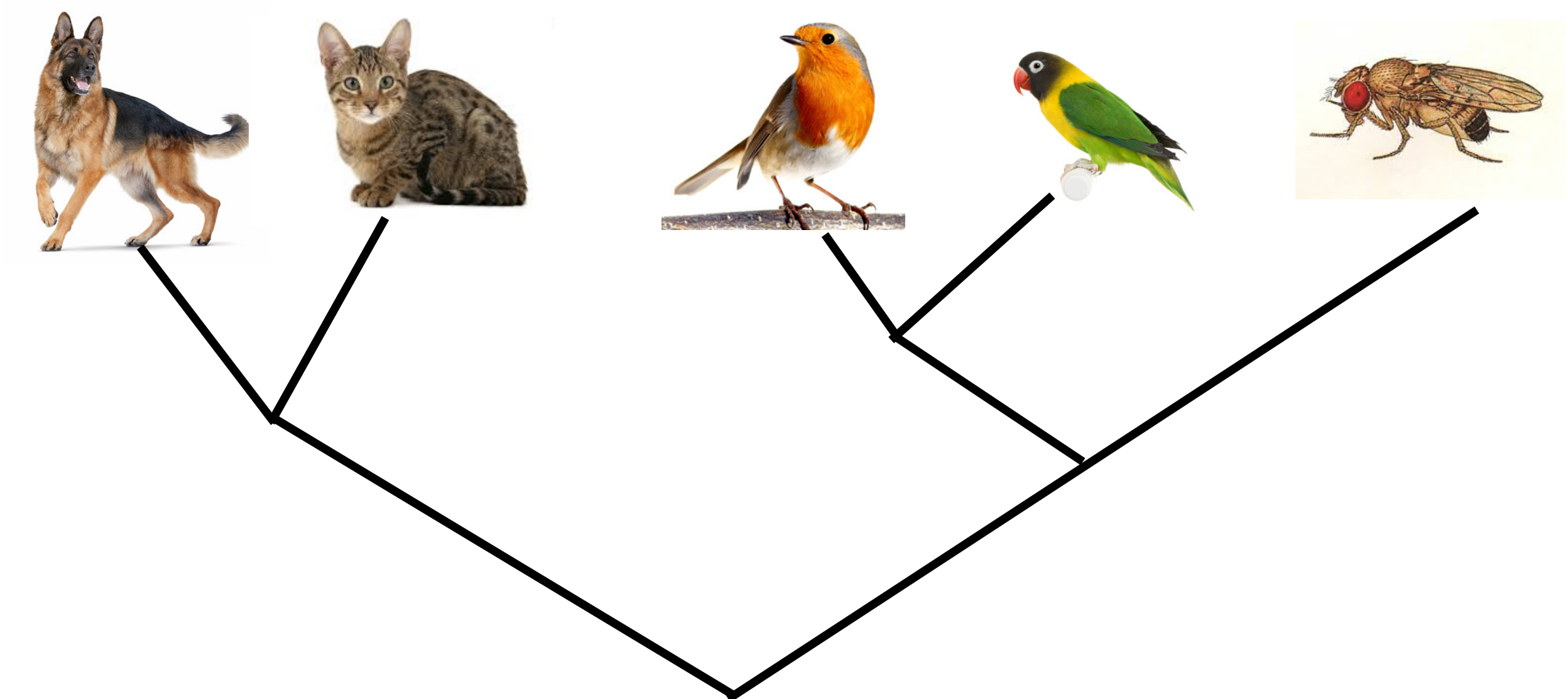
Χαρακτήρες και καταστάσεις χαρακτήρων

	Συμμετρία	Αριθμός άκρων	Μεταμερή	Οστά	Κάλυψη σώματος	Πρόσληψη τροφής		
Σκύλος	Αμφίπλευρη	4	Όχι	Ναι	Τρίχες	Στόμα		
Γάτα	Αμφίπλευρη	4	Όχι	Ναι	Τρίχες	Στόμα		
Κοκκινολαίμης	Αμφίπλευρη	4	Όχι	Ναι	Πτέρωμα	Ράμφος		
Παπαγάλος	Αμφίπλευρη	4	Όχι	Ναι	Πτέρωμα	Ράμφος		
Μύγα	Αμφίπλευρη	6	Ναι	Όχι	Σμύριγγες	Μυζητήρας		

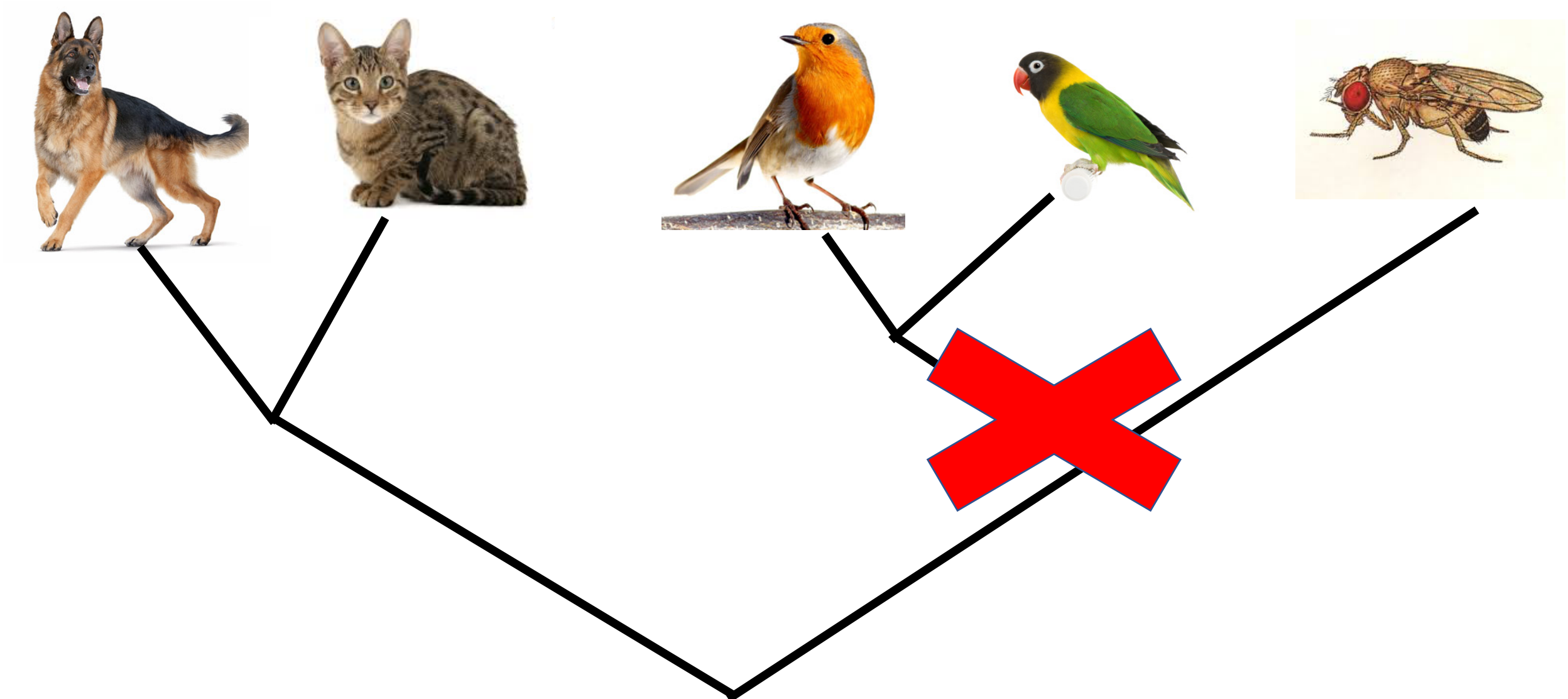
Χαρακτήρες και καταστάσεις χαρακτήρων

	Συμμετρία	Αριθμός άκρων	Μεταμερή	Οστά	[redacted]	[redacted]	Αυγά	Φτερά
Σκύλος	Αμφίπλευρη	4	Όχι	Ναι	[redacted]	[redacted]	Όχι	Όχι
Γάτα	Αμφίπλευρη	4	Όχι	Ναι	[redacted]	[redacted]	Όχι	Όχι
Κοκκινολαίμης	Αμφίπλευρη	4	Όχι	Ναι	[redacted]	[redacted]	Ναι	Ναι
Παπαγάλος	Αμφίπλευρη	4	Όχι	Ναι	[redacted]	[redacted]	Ναι	Ναι
Μύγα	Αμφίπλευρη	6	Ναι	Όχι	[redacted]	[redacted]	Ναι	Ναι

Σχέσεις μεταξύ των οργανισμών



Σχέσεις μεταξύ των οργανισμών



Αποστάσεις

```
Chicken    ATGCATGGGCCAGCATGACCAGCAGGAGGTAGC---CAAAATAACACCAACATGCAAATG
Cow        ATGCATCCGCCACCATGACCAGCAGGAGGTAGCACCCAAAACAGCACCAACGTGCAAATG
Human      ATGCATCCGCCACCATGACCAGCAGGAGGTAGCACTCAAAACAGCACCAACGTGCAAATG
Mouse      ATGCATCCGCCACCATGACCAGCAGGAGGTAGCACTCAAAACAGCACCAACGTGCAAATG
Rat        ATGCATCCGCCACCATGACCAGCGGGAGGTAGCTCTCAAAACAGCACCAACGTGCAAATG
           ******  **** *********  *  ***  *   * *** * *            *
```

	chick	cow	human	mouse	rat
chick	0				
cow	4	0			
human	5	3	0		
mouse	4	4	5	0	
rat	5	3	4	1	0

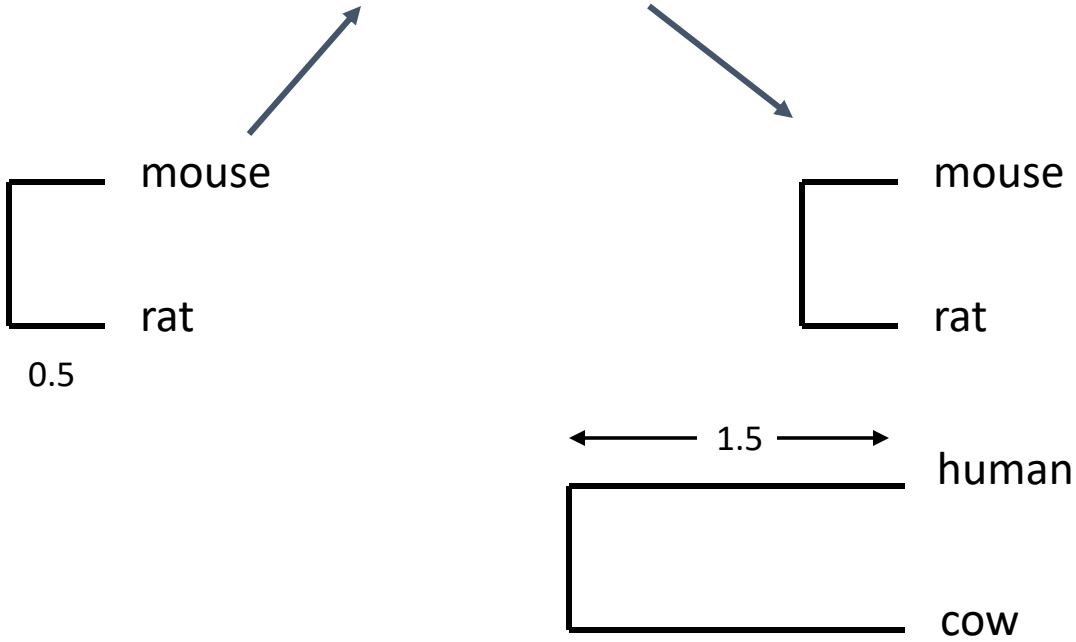
```
Chick
Cow     4
Human   5   3
Mouse   4   4   5
Rat     5   3   4   1
```

UPGMA

(unweighted pair-group method with arithemtic mean)

Chick				
Cow	4			
Human	5	3		
Mouse	4	4	5	
Rat	5	3	4	1

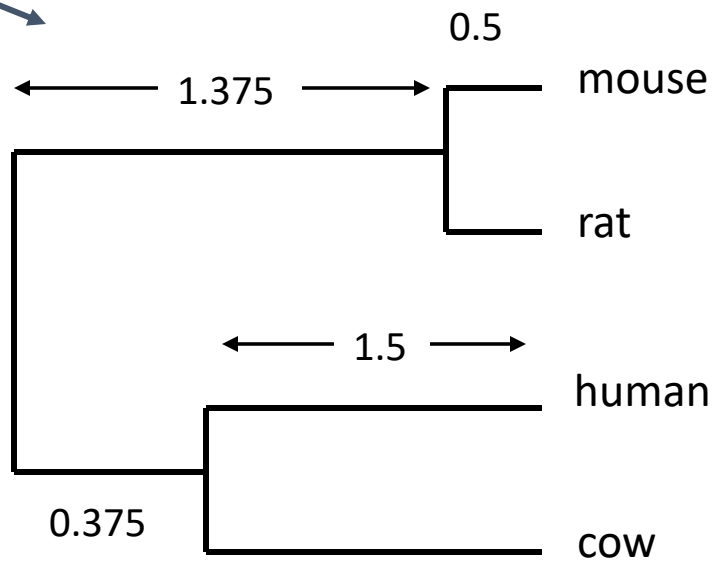
Chick			
Cow	4		
Human	5	3	
M/R	4.5	3.5	4.5



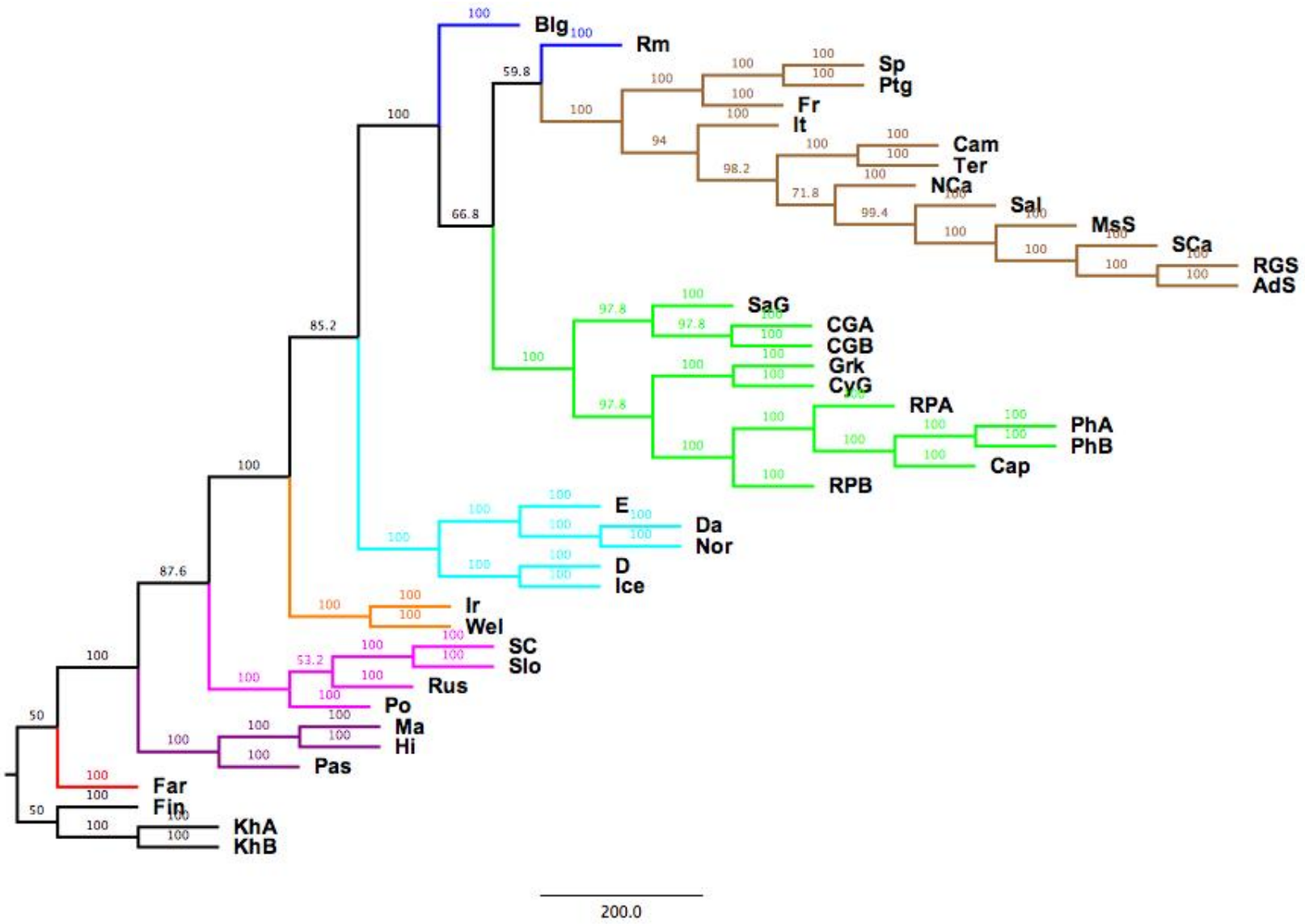
UPGMA

(unweighted pair-group method with arithemtic mean)

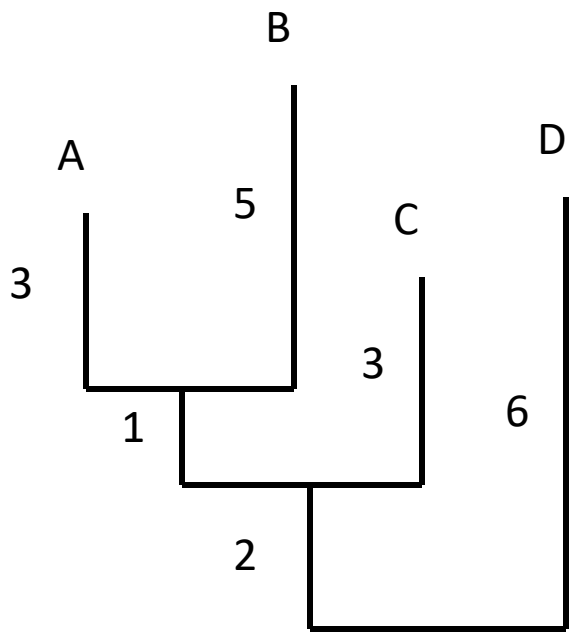
```
Chick
C/H     4.5
M/R     4.5   3.75
```

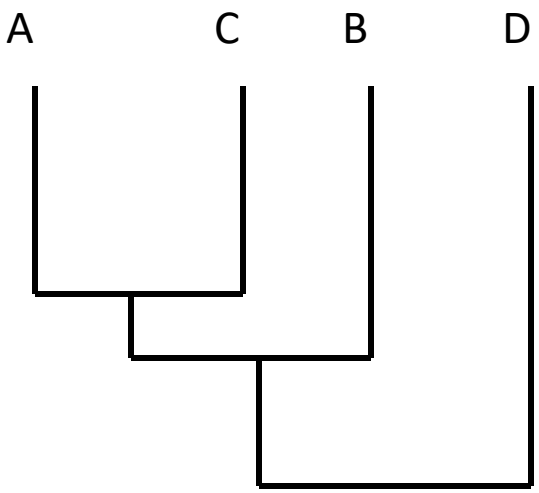


Ινδοευρωπαϊκές



UPGMA - προβλήματα





Maximum Parsimony

- Η παλαιότερη μέθοδος
- Χρησιμοποιείται και σε μορφολογικά χαρακτηριστικά
- Ελαχιστοποιεί τον αριθμό των αλλαγών στους χαρακτήρες

Αριθμός δέντρων

$$N_{unrooted} = \frac{(2n-5)!}{2^{n-3}(n-3)!} \qquad N_{rooted} = \frac{(2n-3)!}{2^{n-2}(n-2)!}$$

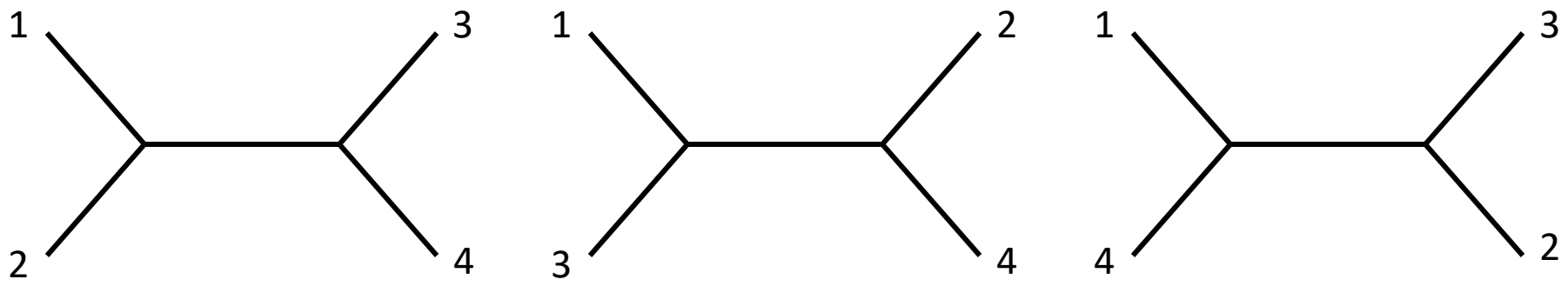
n	$N_{unrooted}$	N_{rooted}
4	3	15
5	15	105
6	105	945
7	945	10395
…		
10	2×10^6	34×10^6
…		
20	$\sim 2 \times 10^{20}$	$\sim 8 \times 10^{21}$

Πληροφοριακές θέσεις

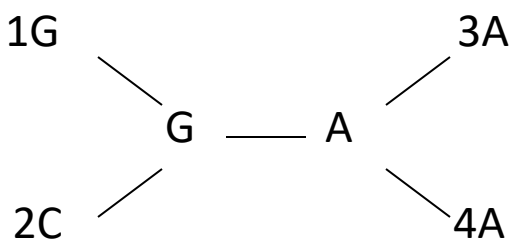
- Ένας χαρακτήρας θα πρέπει να έχει τουλάχιστον δύο καταστάσεις, καθεμιά παρούσα σε τουλάχιστον δύο OTUs

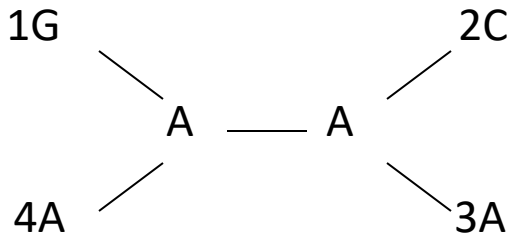
Informative Sites

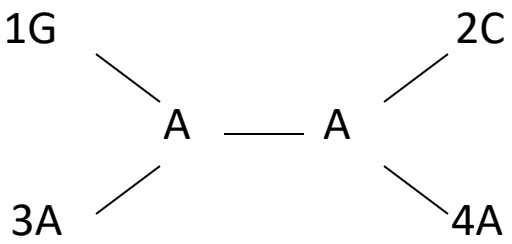
```
Seq1   A A G A G T G C A
Seq2   A G C C G T G C G
Seq3   A G A T A T C C A
Seq4   A G A G A T C C G
                 *   *   *
```



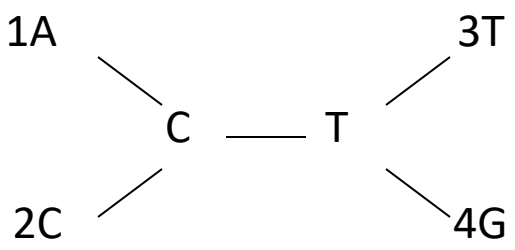
```
Seq1   A A G A G T G C A
Seq2   A G C C G T G C G
Seq3   A G A T A T C C A
Seq4   A G A G A T C C G
                 *   *   *
```

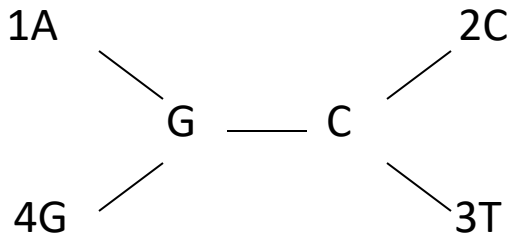


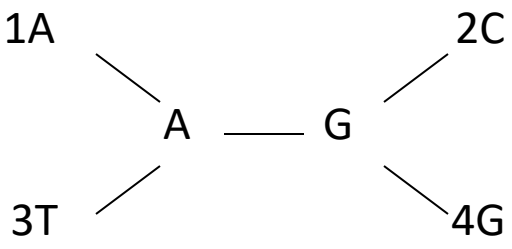




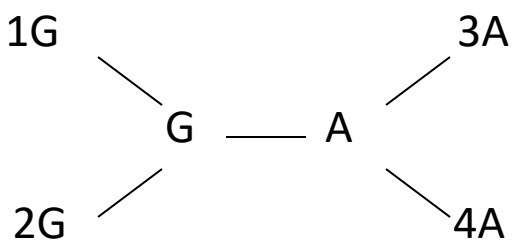
```
Seq1   A A G A G T G C A
Seq2   A G C C G T G C G
Seq3   A G A T A T C C A
Seq4   A G A G A T C C G
                 *   *   *
```

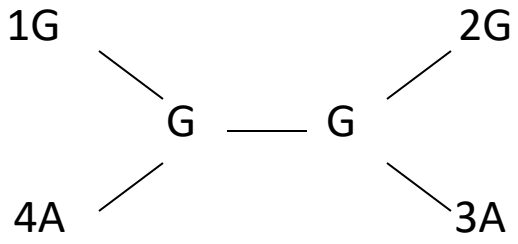


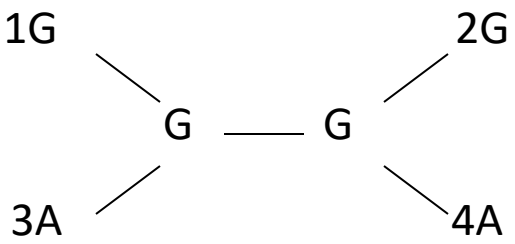




```
Seq1   A A G A G T G C A
Seq2   A G C C G T G C G
Seq3   A G A T A T C C A
Seq4   A G A G A T C C G
                 *   *   *
```







Maximum Likelihood

- Βρίσκει τις παραμέτρους ενός μοντέλου εξέλιξης οι οποίες μεγιστοποιούν την πιθανότητα να παρατηρήσουμε τα πραγματικά δεδομένα
- Το μοντέλο περιλαμβάνει:
  - Μοντέλο αλλαγής αλληλουχίας
  - Τοπολογία του δέντρου
  - Μήκος των κλαδιών

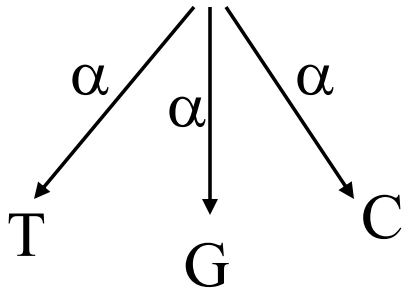
Το μοντέλο Jukes-Cantor (JC)

Ποια είναι η πιθανότητα ένα νουκλεοτίδιο να ΜΗΝ αλλάξει μετά από ένα χρονικό βήμα;

$$P_{A(0)} = 1$$

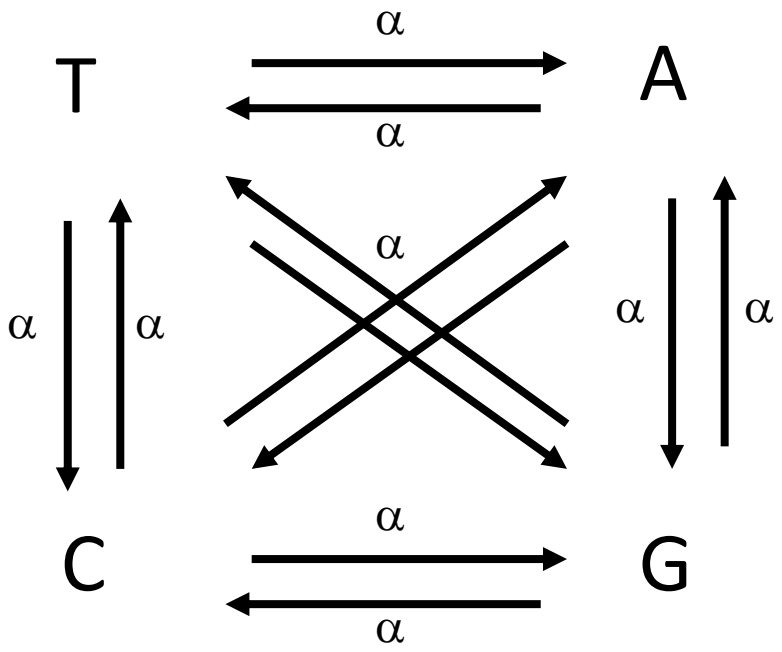
$$P_{A(1)} = ?$$

TCAGAAAAACAGTTTATTTTCTTTTTTTCTGAGAGAGAGGGTC



$$P_{A(1)} = 1 - 3\alpha$$

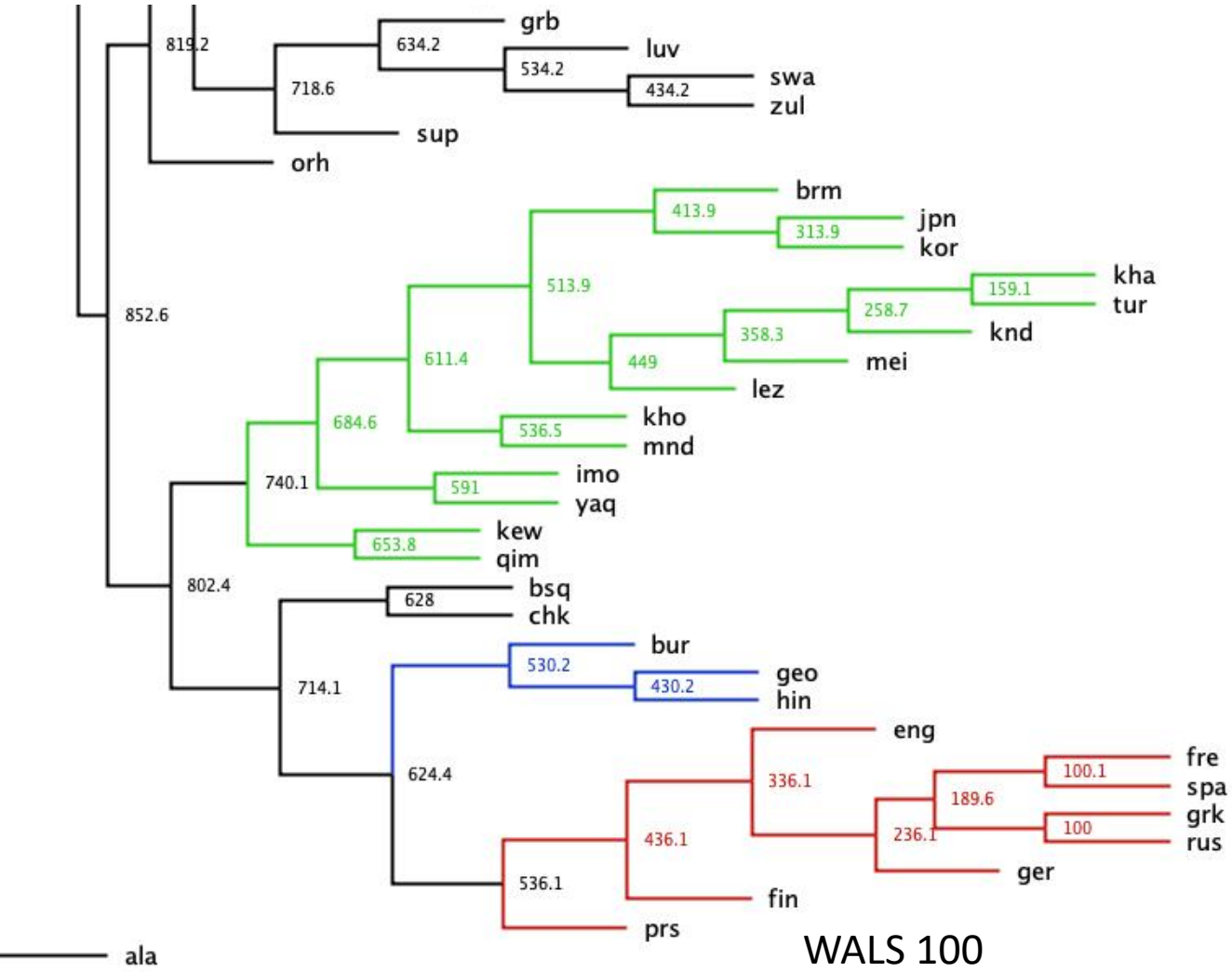
Jukes-Cantor Model



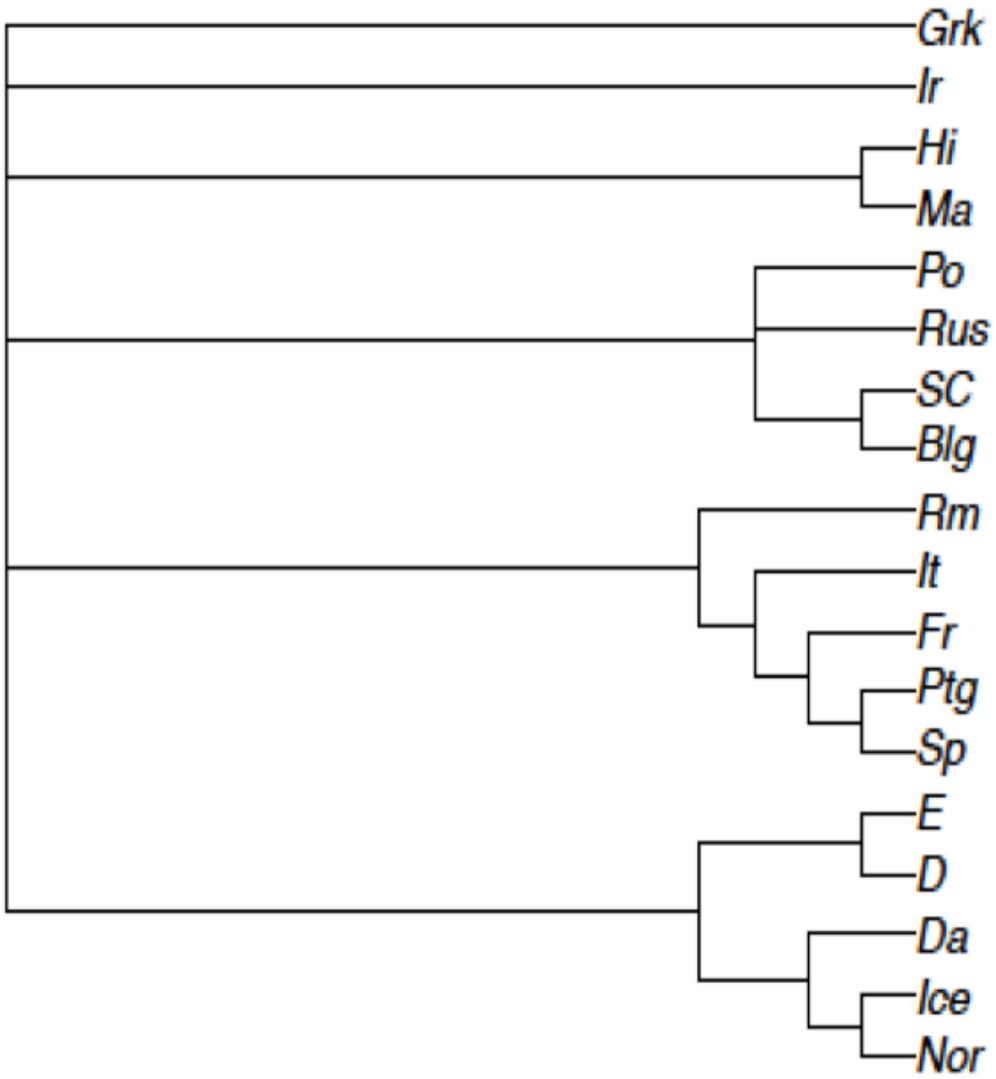
Εξέλιξη των γλωσσών: έρευνα με δεδομένα

100 γλώσσες από όλες τις οικογένειες
60 γλώσσες από μια οικογένεια (Ινδοευρωπαϊκή)

lang	20A	21A	21B	23A	24A	25A
It	1	5	2	4	2	5
Sp	1	1	2	3	2	5
Cat	1	1	2	2	2	2
Fr	1	5		4	2	5
Ptg-E	1	5		4	2	5
Ptg-B	1	5		4	2	5
Rm	1	1		3	2	5
Lat		2		2	2	2
ClG		2		2	3	5
NTG		2		2	3	5



WALS 100
Μέθοδοι αποστάσεων



Longobardi et al 2016

Συνοπτικά

- Οι γλώσσες όπως και οι οργανισμοί είναι εξελίξιμα συστήματα
- Η εξέλιξη συντελείται μέσα από τέσσερις διακριτές διαδικασίες
- Η εξελικτική θεωρία μας δίνει τις αρχές της εξέλιξης των εξελίξιμων συστημάτων καθώς και τα εργαλεία για να μελετήσουμε την εξέλιξη
- Τα εξελίξιμα συστήματα έχουν κοινά χαρακτηριστικά αλλά έχουν και τις ιδιαιτερότητές τους
- Αυτές οι ιδιαιτερότητες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη μελέτη της εξέλιξης του κάθε εξελίξιμου συστήματος, και να ενσωματώνονται στις αντίστοιχες μεθόδους για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα.

Ευχαριστώ!

Η ερευνητική εργασία υποστηρίχτηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.) στο πλαίσιο της Δράσης «1η Προκήρυξη ερευνητικών έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την ενίσχυση των μελών ΔΕΠ και Ερευνητών/τριών και την προμήθεια ερευνητικού εξοπλισμού μεγάλης αξίας» (Αριθμός Έργου: HFRI-FM17-44)