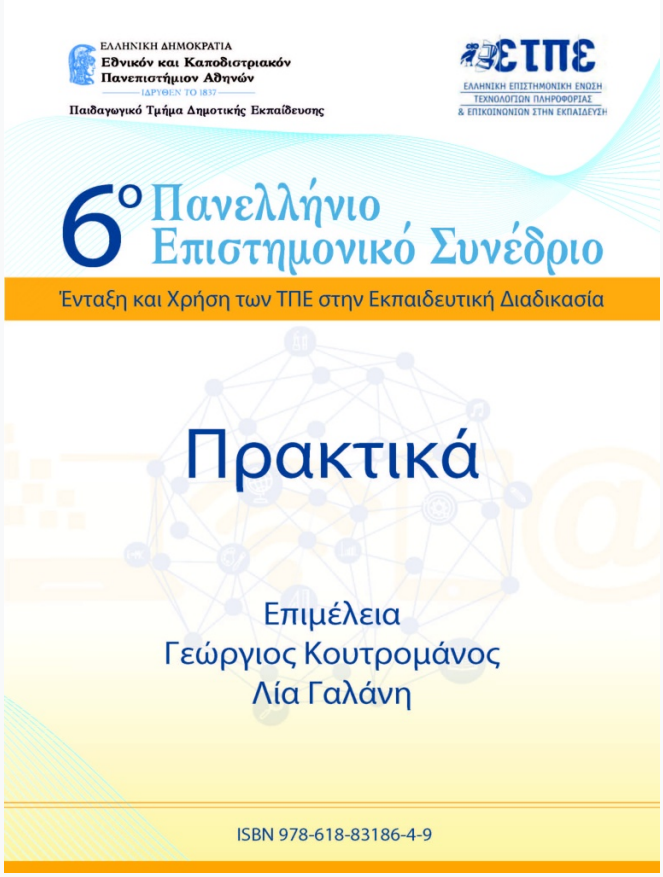
ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2019)

6ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»



iTOL: Interactive Tree of Life (Διαδραστικό Δένδρο της Ζωής), για τη διδασκαλία εννοιών της εξέλιξης στη βιολογία

Παναγιώτης Κ. Στασινάκης

Βιβλιογραφική αναφορά:

Στασινάκης Π. Κ. (2022). iTOL: Interactive Tree of Life (Διαδραστικό Δένδρο της Ζωής), για τη διδασκαλία εννοιών της εξέλιξης στη βιολογία. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, *1*, 756–761. ανακτήθηκε από https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/3695

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 16/01/2026 09:21:03

iTOL: Interactive Tree of Life (Διαδραστικό Δένδρο της Ζωής), για τη διδασκαλία εννοιών της εξέλιξης στη βιολογία

Παναγιώτης Κ. Στασινάκης
stasinakis@biologia.gr
Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών Επιστημών (ΕΚΦΕ) Αμπελοκήπων

Περίληψη

Στο επιμορφωτικό εργαστήριο θα χρησιμοποιηθεί η διαδικτυακή πλατφόρμα iTOL, η οποία παρουσιάζει φυλογενετικά-εξελικτικά δένδρα πλήθους ειδών και άλλων τάξα. Στόχος του εργαστηρίου είναι οι συμμετέχοντες να εξοικειωθούν με βασικές αρχές ανάλυσης, ανάγνωσης και κατασκευής ενός φυλογενετικού-εξελικτικού δένδρου, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως διδακτικό ενδιάμεσο για να εισάγουν στη διδασκαλία τους έννοιες και διεργασίες της εξελικτικής βιολογίας. Τα φυλογενετικά-εξελικτικά δένδρα αποτελούν ένα επιστημονικό εργαλείο το οποίο οπτικοποιεί αλλά και εξηγεί τις εξελικτικές - συγγενικές σχέσεις μεταξύ των διαφόρων διαθέσιμων τάξα. Με την ολοκλήρωση του εργαστηρίου, οι συμμετέχοντες θα μπορούν να επιλέγουν τα στοιχεία της πλατφόρμας που επιθυμούν για να κατασκευάζουν τα δικά τους φυλογενετικά δένδρα, ώστε να προσαρμόζονται στις ανάγκες και τις απαιτήσεις της τάξης τους.

Λέξεις κλειδιά: Εξέλιξη, Φυλογένεση, Φυλογενετικό-εξελικτικό δένδρο

Εισαγωγή

Συχνά πυκνά στα διεθνή νέα ανακοινώνεται η ανάγνωση της ακολουθίας του γενετικού υλικού ενός ακόμη οργανισμού. Διαπιστώνεται ποικιλία ειδών με τουλάχιστον μερική αλληλούχιση, δηλαδή ανάλυση ακολουθιών γενετικού υλικού (Tringe et al., 2005) και το δέντρο της ζωής με βάση τα πλήρη αλληλουχικά γονιδιώματα επανεξετάζεται συνεχώς. Τα φυλογενετικά-εξελικτικά δένδρα αποτελούν τη βάση για διάφορες άλλες βιολογικές μελέτες (συγγένειες με νέα είδη, ορισμός θέσης απολιθωμάτων, πληθυσμιακές και οικολογικές σχέσεις ειδών, κ.ά.) και είναι επομένως απαραίτητο να διαθέτουμε εργαλεία για την εμφάνιση, προσαρμογή και ερμηνεία τους (π.χ., Ciccarelli et al., 2006).

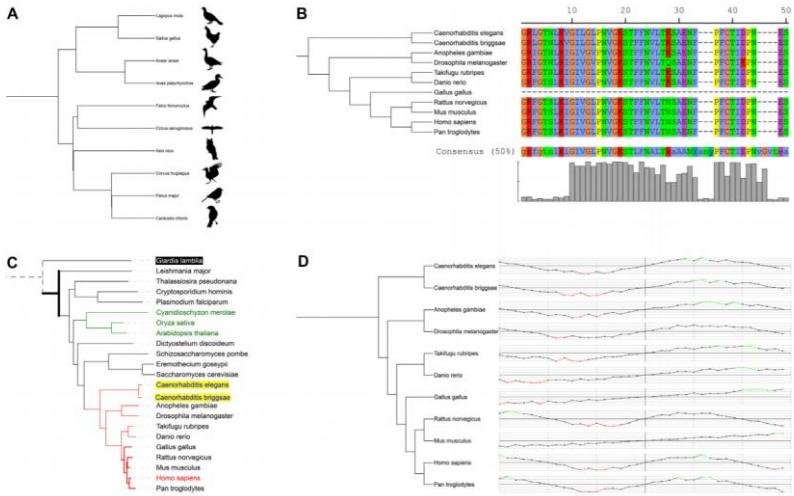
Το Interactive Tree of Life (Διαδραστικό Δέντρο Ζωής – ΔΔΖ), είναι μία διαδικτυακή πλατφόρμα για την προβολή, το χειρισμό και το σχολιασμό φυλογενετικών και άλλων δένδρων. Διατίθεται ελεύθερο για πρόσβαση, ανοικτό για όλους τους ενδιαφερόμενους. Η τρέχουσα έκδοση (v4) διαθέτει καινούριους τύπους δεδομένων, μαζί με πολλά νέα χαρακτηριστικά. Οι επιλογές σχολιασμού έχουν επεκταθεί και έχουν προστεθεί νέες επιλογές ελέγχου για πολλά στοιχεία εμφάνισης. Έχει παραχθεί ένας διαδραστικός επεξεργαστής τύπου φύλλων εργασίας (spreadsheet), ο οποίος παρέχει δυνατότητες δημιουργίας και επεξεργασίας δεδομένων συνόλων, απευθείας στην διεπαφή ιστού. Η υποστήριξη γραμματοσειρών έχει ξαναγραφεί με πλήρη υποστήριξη για κωδικοποίηση χαρακτήρων UTF-8 σε όλη τη διεπαφή χρήστη. Οι γραμματοσειρές Google Web υποστηρίζονται πλήρως στις ετικέτες κειμένου του ΔΔΖ. Το σύστημα λογαριασμού χρήστη έχει εξορθολογιστεί και επεκταθεί με νέες επιλογές πλοήγησης και επί του παρόντος χειρίζεται περισσότερα από 700.000 δένδρα από περισσότερους από 40.000 μεμονωμένους χρήστες. Υπάρχει πλήρης

Γ. Κουτρομάνος, Λ. Γαλάνη (επιμ.), Πρακτικά Εργασιών 6ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία», σ. 756-761, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 18-20 Οκτωβρίου 2019. ISBN 978-618-83186-4-9.

πρόσβαση σε δεδομένα, επιτρέποντας τη μεταφόρτωση και εξαγωγή δένδρων και σχολιασμών από τους ενδιαφερόμενους.

Όπως αναφέρουν οι Letunic & Bork (2019), κάθε δένδρο στο iTOL μπορεί να σχολιαστεί με απεριόριστο αριθμό συνόλων δεδομένων. Τα αρχεία δεδομένων μεταφέρονται πάνω στα δένδρα που εμφανίζονται αυτόματα στο πρόγραμμα περιήγησης. Ειδικότερα στο Σχήμα 1:

- A: εξωτερικές εικόνες bitmap και SVG μπορούν να συνδεθούν με οποιονδήποτε κόμβο του δένδρου, να αναστραφούν και να τοποθετηθούν.
- B: πολλαπλές αλληλουχίες μπορούν να ευθυγραμμιστούν. Αρκετά προεπιλεγμένα χρώματα είναι διαθέσιμα, ενώ μπορούν να οριστούν και προσαρμοσμένα χρώματα για κάθε συστατικό στοιχείο.
- C: στυλ κλάδων και ετικετών: τα χρώματα και τα στυλ για τους κόμβους των δένδρων και τις ετικέτες μπορούν να καθοριστούν μέσω ενός ξεχωριστού τύπου συνόλου δεδομένων. Μπορεί να υπάρχουν πολλαπλά διαφορετικά σύνολα δεδομένων, προσφέροντας στους χρήστες τη δυνατότητα απλής εναλλαγής μεταξύ διαφόρων χρωμάτων και στυλ δένδρων.
- D: διαγράμματα γραμμών: οπτικοποίηση ως μια σειρά από σημεία, προαιρετικά συνδεδεμένα με μια γραμμή. Υποστηρίζονται οι κατακόρυφες και οριζόντιες γραμμές άξονα, καθώς και ο αυτόματος χρωματισμός των κουκίδων / γραμμών με βάση τα καθορισμένα όρια τιμών από κάθε χρήστη. Υπάρχουν διαθέσιμες μορφές κάθετης και οριζόντιας προβολής, τόσο σε ορθογώνια όσο και σε κυκλικά δέντρα.

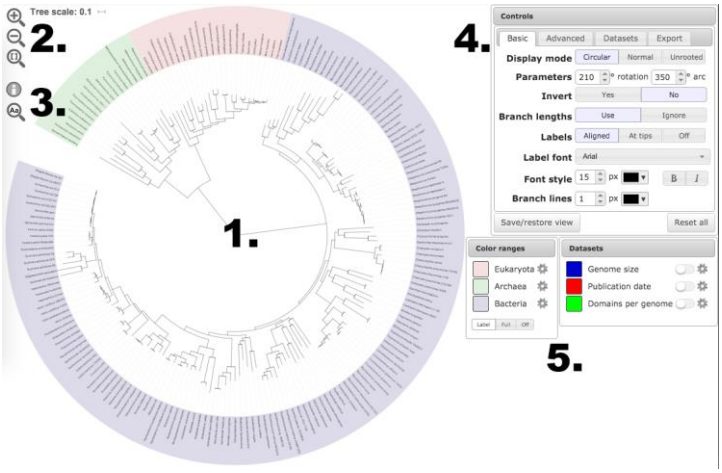


Σχήμα 1. Η δομή και οργάνωση κάποιων φυλογενετικών δένδρων (Πηγή: Letunic & Bork, 2019)

Η πρώτη σελίδα της εφαρμογής iTOL, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Ειδικότερα, η κάθε θέση αντιστοιχεί:

1. **Κύρια προβολή δένδρου**, όπου φαίνεται το τρέχον δένδρο. Για να μετακινήσετε / περιστρέψετε το δέντρο, απλά κάντε κλικ και σύρετε με το ποντίκι σας.

2. **Ελεγκτές ζουμ**. Εκτός από τον τροχό του ποντικιού, τα εικονίδια ζουμ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αλλάξουν το επίπεδο ζουμ της οθόνης. Κάνοντας κλικ στο εικονίδιο 'προσαρμογή μεγέθυνσης' θα επιστρέψει το δένδρο στο αρχικό ζουμ / θέση.
3. **Άλλες λειτουργίες**. Τοποθετήστε το δείκτη του ποντικιού πάνω στο εικονίδιο πληροφοριών για να εμφανιστούν βασικές πληροφορίες σχετικά με το τρέχον δέντρο. Το εικονίδιο αναζήτησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρει γρήγορα ένα συγκεκριμένο τάξο ή εσωτερικό κόμβο.
4. **Κύριος πίνακας ελέγχου.** Οι περισσότερες λειτουργίες του iTOL είναι διαθέσιμες εδώ, χωρισμένες σε τέσσερις καρτέλες (βασική, προχωρημένη, ομάδες δεδομένων, εξαγωγή).
5. **Πεδίο χρωματισμένων επιλογών / συνόλων δεδομένων**. Εάν στο δένδρο υπάρχουν χρωματιστές σειρές δεδομένων ή σύνολα δεδομένων, θα εμφανίζονται εδώ.



Σχήμα 2: Η αρχική σελίδα της πλατφόρμας iTOL

Από την άλλη, στη διδακτική της Βιολογίας (Αθανασίου, 2009) και ειδικότερα στη διδασκαλία της εξέλιξης (Stasinakis & Athanasiou, 2016), διαπιστώνεται έλλειμμα των εκπαιδευτικών τόσο ως προς το γνωστικό μέρος των επιστημονικών θεωριών όσο και ως προς τη διδακτική τους προσέγγιση. Διδακτικά διαπιστώνεται πως συχνά αδυνατούν να χρησιμοποιήσουν κατάλληλα διδακτικά εργαλεία ώστε να σχηματοποιήσουν ή να οπτικοποιήσουν δυσνόητες και αφηρημένες έννοιες, ή ακόμα και να περιγράψουν περίπλοκες και μακροχρόνιες βιολογικές διεργασίες. Η χρήση των ΤΠΕ, συχνά είναι αρωγός στην προσπάθεια της διδακτικής της βιολογίας, ώστε να μετασχηματιστούν διδακτικά ανάλογες έννοιες και διεργασίες.

Οι Stasinakis & Nicolaou (2016), κατόρθωσαν με τη χρήση ενός λογισμικού 3δ-απεικόνισης να βελτιώσουν τα μαθησιακά αποτελέσματα ως προς τη διδασκαλία των επιπέδων οργάνωσης των πρωτεϊνών, ενώ οι Στασινάκης & Καλογιαννάκης (2017) συζητούν για τη σπουδαιότητα της τρισδιάστατης απεικόνισης τόσο των δομών όσο και των λειτουργιών των βιολογικών συστημάτων.

Οι Βλάσση, Κωσταρίδης & Παυλάτου (2015) χρησιμοποίησαν πολυμεσικές εφαρμογές (εκπαιδευτικά παιχνίδια, προσομοιώσεις, ψηφιακό παζλ, ψηφιακός εννοιολογικός χάρτης, τρισδιάστατα μοντέλα) με μαθητές Β Λυκείου, όπου διαπιστώθηκε η ευκολία χρήσης των

εφαρμογών, η δυνατότητα χρήσης τους και εκτός σχολικού χώρου, η προτίμηση των μαθητών για εφαρμογές παιχνιδιών και διάδρασης, η πρόκληση ενδιαφέροντες, η διασκέδαση των συμμετεχόντων. Οι Ζαχόπουλος & Στασινάκης (2015) χρησιμοποίησαν το σύστημα ανάδρασης της πλατφόρμας τηλεκπαίδευσης Moodle, όπου διαπιστώθηκε πως άμεσες απαντήσεις του συστήματος, η δυνατότητα δοκιμής διαφόρων απαντήσεων και τα μηνύματα ανατροφοδότησης – ανάδρασης, βοήθησαν τους μαθητές πολυεπίπεδα. Οι Βασιλοπούλου & Μαυρικάκη (2014) μελέτησαν τη συμπεριφορά ενός μαθητή με Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας (ΔΕΠ-Υ), ως προς τη διδασκαλία της Βιολογίας με τη χρήση ΤΠΕ (λογισμικό μαζί με διαδραστικό πίνακα) και κατόρθωσαν να τραβήξουν την προσοχή του μαθητή και να τον διατηρήσουν περισσότερο ενεργό.

Η επιμορφωτική πρόταση

Σκοπός του εργαστηρίου

Το εργαστήριο έχει ως σκοπό να εξηγήσει την σπουδαιότητα της δενδροειδούς σκέψης κατά τη μελέτη ενός φυλογενετικού – εξελικτικού δένδρου και ταυτόχρονα να επιτρέψει στους εκπαιδευτικούς να αποκτήσουν εμπειρία ανάγνωσης και ερμηνείας ενός τέτοιου δένδρου. Επιπλέον θα μπορέσουν να δημιουργήσουν το δικό τους φυλογενετικό – εξελικτικό δένδρο και μέσω αυτού να προσεγγίσουν τις έννοιες και τις διεργασίες της βιολογικής εξέλιξης που αυτοί θεωρούν σημαντικές για τη διδασκαλία τους.

Το εργαστήριο στην αρχή θα περιέχει μία ολιγόλεπτη θεωρητική εισαγωγή σχετικά με τις βασικές γνώσεις για το προς επιμόρφωση αντικείμενο και θα ακολουθήσει πρακτική εφαρμογή, μελέτης υπαρκτού αλλά και κατασκευής δικού τους φυλογενετικού δένδρου. Η παρέμβαση θα ολοκληρωθεί με συζήτηση για τις πιθανές παρεμβάσεις στις διάφορες εκπαιδευτικές βαθμίδες, ενώ θα κατατεθούν και συγκεκριμένες προτάσεις από την εμπειρία μας της μέχρι τώρα χρήσης του. Ολοκληρώνοντας το εργαστήριο, ευελπιστούμε να έχει δημιουργηθεί ένας αρχικός βασικός πυρήνας εκπαιδευτικών που θα συνδράμει στην περαιτέρω χρήση της πλατφόρμας στα σχολεία, οπτικοποιώντας τις εξελικτικές σχέσεις των οργανισμών με τη χρήση της πλατφόρμας iTOL.

Ο απώτερος στόχος μας, είναι να γίνει συζήτηση για την εξελικτική βιολογία, το πώς αυτή μας βοηθάει να ερμηνεύουμε το φυσικό κόσμο που μας περιβάλλει, το πώς μας επιτρέπει να αποδεχόμαστε τόσο τις ομοιότητες όσο και τις διαφορές, ως μία φυσική διεργασία που πραγματοποιείται εδώ και εκατομμύρια χρόνια στον πλανήτη μας. Τέλος, θα ολοκληρωθεί η παρέμβαση με συζητήσεις – προτάσεις για τη χρήση της εξελικτικής θεωρίας ως ερμηνευτικό όχημα για πλήθος κοινωνικών ζητημάτων, όπως ο ρατσισμός-καθώς η ποικιλομορφία είναι μία ιδιότητα όλων των οργανισμών, η υπερβολική χορήγηση αντιβιοτικών-η μικροεξέλιξη των βακτηρίων επιβάλλει έναν αέναο αγώνα μεταξύ των μικροοργανισμών και των φαρμακευτικών εταιρειών, η ανάγκη διατήρησης της βιοποικιλότητας-κανένας οργανισμός και κανένα χαρακτηριστικό πάνω σε αυτόν τον πλανήτη δεν είναι ήσσονος σημασίας κ.ά.

Ψηφιακό περιβάλλον/προϊόν

Το ψηφιακό περιβάλλον που θα χρησιμοποιηθεί είναι η διαδικτυακή πλατφόρμα iTOL: Interactive Tree of Life, στη διεύθυνση https://itol.embl.de/. Με απευθείας πρόσβαση στο διαδίκτυο και τη χρήση φυλλομετρητή, θα περιηγηθούμε στα διαθέσιμα φυλογενετικά – εξελικτικά δένδρα και θα κατασκευάσουμε τα δικά μας, με στόχο να αναλύσουμε την εξελικτική ιστορία των διαθέσιμων ειδών και τάξα.

Προστιθέμενη εκπαιδευτική αξία

Η διαδικτυακή πλατφόρμα αποτελεί ένα εύχρηστο εργαλείο, το οποίο μπορεί να ενταχθεί σε πλήθος διαφορετικών δραστηριοτήτων ανάλογα με την εκάστοτε διδακτική στοχοθεσία. Είτε με σύνθετες, είτε με απλές δραστηριότητες επιτρέπει την ανάγνωση, την ερμηνεία αλλά και τη συνθετική κατασκευή φυλογενετικών – εξελικτικών δένδρων.

Δωρεάν και εύχρηστη πλατφόρμα που επιτρέπει στους χρήστες, μέσα από απλά βήματα να δημιουργήσουν άμεσα και χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις δεκάδες φυλογενετικά – εξελικτικά δένδρα. Οι παρεχόμενες δυνατότητες μορφοποίησης, επιλέγοντας χρώματα, τύπους γραμμών, τρόπους εμφάνισης, κ.ά., εξασφαλίζουν τα εχέγγυα για ένα απλό στη δομή και πλήρως παραμετροποιήσιμο φυλογενετικό – εξελικτικό δένδρο, το οποίο πάντα κρύβει μέσα του πλήθος πληροφοριών εξελικτικής σημασίας, κομβικής για τη βιολογία όλων των έμβιων όντων.

Οι μαθητές μπορούν να δουν φωτογραφίες των ειδών ή ακόμα και να προσθέσουν στα δικά τους φυλογενετικά – εξελικτικά δένδρα, γεγονός που συνδέει άμεσα την επιστημονική γνώση με την καθημερινότητα και παρακινεί το ενδιαφέρον για την αναζήτηση ιστορικών εξελικτικών σχέσεων. Όταν ολοκληρωθεί η μελέτη και η κατασκευή του ατομικού φυλογενετικού δένδρου, η πλατφόρμα επιτρέπει την ανάκτησή του στον έκαστο τοπικό υπολογιστή, δημιουργώντας μία ομάδα εξελικτικών – φυλογενετικών δένδρων ως αποτέλεσμα της ατομικής ή ομαδικής εργασίας των μαθητών. Έτσι, μπορούν στη συνέχεια να τα αναρτήσουν σε προσωπικούς χώρους ή να τα αποστείλουν στον υπεύθυνο καθηγητή, ώστε να γίνει εφικτή η αξιολόγηση και η αναγκαία ανατροφοδότηση.

Η απόκρισή του είναι άμεση, δεν απαιτεί ιδιαίτερους υπολογιστικούς πόρους (μόνο έναν φυλλομετρητή και σύνδεση στο διαδίκτυο), ενώ αν ο εκπαιδευτικός χρησιμοποιήσει κάποιο παράδειγμα στη διδασκαλία του μπορεί να το έχει κατασκευάσει από πριν και να το αναπτύσσει σταδιακά. Το περιβάλλον είναι οικείο, αν και κρίνεται σκόπιμο σε κάθε χρήση για πρώτη φορά, να προηγούνται μία-δυο ασκήσεις εξοικείωσης με τη χρήση και τη λειτουργία της πλατφόρμας.

Σημαντικό στοιχείο, είναι ότι, με ιδιαίτερη ευκολία, μπορούν οι μαθητές να συνεχίσουν τη δημιουργία και την επεξεργασία δένδρων από τον προσωπικό υπολογιστή στο σπίτι τους, έτσι ώστε να ανακαλέσουν τη διαδικασία που ακολούθησαν στην τάξη, όμως και να πειραματιστούν με το πρόγραμμα για την κατασκευή επιπλέον φυλογενετικών-εξελικτικών δένδρων. Η πλατφόρμα είναι στην αγγλική γλώσσα, άρα απαιτείται κατάλληλη προσαρμογή των φύλλων εργασίας ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Κοινό στο οποίο απευθύνεται

Το σεμινάριο απευθύνεται σε εκπαιδευτικούς δευτεροβάθμιας και πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Οι συμμετέχοντες είναι θεμιτό να έχουν βασικές γνώσεις βιολογίας, όμως καθώς θα προηγηθεί θεωρητική εισαγωγή μικρής διάρκειας είναι δυνατό να το παρακολουθήσουν όλοι. Καθώς στόχος του σεμιναρίου είναι να επιμορφώσει τους συμμετέχοντες σε βασικές αρχές ανάγνωσης, μελέτης και εξαγωγής συμπερασμάτων από ένα φυλογενετικό-εξελικτικό δένδρο, οι εκπαιδευτικοί μπορούν στη συνέχεια να προσαρμόσουν τα δικά τους φύλλα εργασίας ή τη διδασκαλία τους στο επίπεδο των μαθητών τους και τη στοχοθεσία της διδασκαλίας τους.

Έτσι, οι εκπαιδευτικοί της πρωτοβάθμιας θα μπορέσουν να αποκτήσουν δεξιότητες που θα αποτελέσουν ισχυρό όχημα για την εισαγωγή εξελικτικών ιδεών στους μαθητές τους καθώς και την ενεργοποίησή τους για τη μελέτη των έμβιων όντων του φυσικού κόσμου, ενώ οι

εκπαιδευτικοί της δευτεροβάθμιας θα μπορέσουν να εισάγουν συνθετότερες εξελικτικές ιδέες και να εξηγήσουν τους μηχανισμούς μάκρο- και μίκρο-εξέλιξης.

Αναγκαίοι πόροι

Απαιτούνται:

- Βιντεοπροβολέας, για τη θεωρητική εισαγωγική διάλεξη και την επίδειξη των επιμέρους λειτουργιών και χρήση της πλατφόρμας.
- Διαθέσιμη πρόσβαση στο διαδίκτυο, ασύρματη ή ενσύρματη, για τη σύνδεση του επιμορφωτή στο διαδίκτυο μέσω του προσωπικού του υπολογιστή.
- Υπολογιστές με πρόσβαση στο διαδίκτυο, όπου θα μπορούν να κάθονται δύο άτομα ανά ομάδα, για να υλοποιήσουν τις επιμέρους δραστηριότητες και εργασίες.

Αναφορές

Ciccarelli, F. D., Doerks, T., von Mering, C., Creevey, C. J., Snel, B., & Bork, P. (2006). Toward automatic reconstruction of a highly resolved tree of life. *Science*, *311*, 1283–1287.

Letunic, I., & Bork, P. (2006). Interactive Tree Of Life (iTOL): an online tool for phylogenetic tree display and annotation, *Bioinformatics*, *23*(1), 127–8.

Letunic, I., & Bork, P. (2011). Interactive Tree Of Life v2: online annotation and display of phylogenetic trees made easy. *Nucleic Acids Res*, *39*, W475–W478.

Letunic, I., & Bork, P. (2016). Interactive Tree Of Life (iTOL) v3: an online tool for the display and annotation of phylogenetic and other trees. *Nucleic Acids Res*, *44*(W1), W242–W245.

Letunic, I., & Bork, P. (2019). Interactive Tree Of Life (iTOL) v4: recent updates and new developments, *Nucleic Acids Res*, *47*(W1), W256–W259.

Stasinakis, P. K., & Athanasiou, K. (2016). Investigating Greek Biology Teachers' Attitudes towards Evolution Teaching with Respect to Their Pedagogical Content Knowledge: Suggestions for Their Professional Development. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *12*(6), 1605–1617.

Stasinakis, P. K., & Nicolaou, D. (2016). Modeling of DNA and Protein Organization Levels with Cn3D Software. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, *45*(2), 126–29.

Tringe, S. G., von Mering, C., Kobayashi, A., Salamov, A. A., Chen, K., Chang, H. W., Podar, M., Short, J. M., Mathur, E. J., Detter, J. C., Bork, P., Hugenholtz, P., & Rubin, E. M. (2005). Comparative metagenomics of microbial communities. *Science*, *308*, 554–557.

Αθανασίου, Κ. (2009). *Εισαγωγή στις βιολογικές επιστήμες και η διδακτική τους*. Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.

Βασιλοπούλου, Α., & Μαυρικάκη, Ε. (2014). Η συμβολή των ΤΠΕ στην επίδοση μαθητή με ΔΕΠ-Υ στο μάθημα της Βιολογίας. Στο Ε. Μαυρικάκη, Π. Στασινάκης και Χ. Ζαχόπουλος (Επιμ.), *Πρακτικά Εργασιών 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Βιολογία στην Εκπαίδευση»* (σσ. 193–203). Αθήνα: Πανελλήνια Ένωση Βιοεπιστημόνων.

Βλάσση, Μ., Κωσταρίδης, Π., & Παυλάτου, Α. Ε. (2015). Δημιουργία και Διδακτική Αξιοποίηση Διαδραστικών Πολυμεσικών Εφαρμογών του Ψηφιακού Σχολείου για το μάθημα της Βιολογίας. Στο Ν. Τζιμόπουλος (Επιμ.), *Πρακτικά Εργασιών 8ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Εκπαιδευτικών για τις ΤΠΕ, Σύρος, 26-28 Ιουνίου 2015* (σσ. 689–697).

Ζαχόπουλος, Χ., & Στασινάκης, Π. (2015). Σύστημα Ανάδρασης - Ανατροφοδότησης και Αυτό-αξιολόγησης στην Πλατφόρμα Τηλεκπαίδευσης Moodle: Μελέτη Περίπτωσης στο Μάθημα Βιολογία Γενικής Παιδείας Γ' Λυκείου. Στο Ν. Τζιμόπουλος (Επιμ.), *Πρακτικά Εργασιών 8ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Εκπαιδευτικών για τις ΤΠΕ, Σύρος, 26-28 Ιουνίου 2015* (σσ. 766–774).

Στασινάκης, Π. Κ., & Καλογιαννάκης, Μ. (2017). Η Χρήση των ΤΠΕ για τη Τρισδιάστατη Απεικόνιση στη Βιολογία, Στο: Κ. Παπανικολάου, Α. Γόγουλου, Δ. Ζυμπίδης, Α. Λαδιάς, Ι. Τζωρτζάκης, Θ. Μπράτιτσης, & Χ. Παναγιωτακόπουλος (Επιμ.), *Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία,* Αθήνα (σσ. 539–49).