

ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Αθανασία Κοκολάκη¹, Νίκος Καπελώνης² & Δημήτρης Σταύρου³

¹Μεταδιδακτορική ερευνήτρια ΠΤΔΕ Παν. Κρήτης, ²Υποψ. Διδάκτορας ΠΤΔΕ Παν. Κρήτης &

³Καθηγητής ΠΤΔΕ Παν. Κρήτης

akokolaki@edc.uoc.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων και μέσων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών (ΦΕ) θεωρείται ότι μπορεί να συνεισφέρει υποστηρικτικά στην υλοποίηση πειραματικών διαδικασιών. Στην παρούσα εργασία αρχικά περιγράφονται τα ψηφιακά μαθησιακά περιβάλλοντα που έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος Erasmus+ “STEM DIGITALIS” για τη διδασκαλία της Κλιματικής Αλλαγής. Στην συνέχεια περιγράφεται η εμπειρική έρευνα με 17 μελλοντικούς εκπαιδευτικούς πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης αναφορικά με τις απόψεις τους για τη διδακτική αξιοποίηση ψηφιακών μέσων στη διδασκαλία των ΦΕ. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν ότι οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί αναγνωρίζουν κυρίως τις δυνατότητες των ψηφιακών εργαλείων αφενός για την εμπλοκή των μαθητών/-τριων σε διερευνητικές διαδικασίες και αφετέρου για την αύξηση της αυθεντικότητας του πλαισίου διδασκαλίας.

Λέξεις κλειδιά: πείραμα, πειραματική διδασκαλία, ψηφιακές τεχνολογίες, κλιματική αλλαγή

Αναφορά: Κοκολάκη, Α., Καπελώνης Ν., & Σταύρου, Δ. (2025). Ψηφιακές Τεχνολογίες για την Πειραματική Διδασκαλία της Κλιματικής Αλλαγής, στο Κώτσης Κ.Θ. & Στύλος Γ., (Επιμέλεια), Πείραμα και Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, Επετειακός Τόμος για τα 40 χρόνια του ΠΤΔΕ Ιωαννίνων, Εργαστήριο Εκπαίδευσης και Διδασκαλίας της Φυσικής, Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. ISBN: 978-618-82063-5-9

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR THE EXPERIMENTAL TEACHING OF CLIMATE CHANGE

Athanasia Kokolaki¹, Nikos Kapelonis² & Dimitris Stavrou³

¹ Post doc researcher University of Crete, ² PhD candidate University of Crete &

³ Professor University of Crete

akokolaki@edc.uoc.gr

ABSTRACT

The use of digital tools and technologies in science teaching is considered to contribute to the implementation of experimental work in science classrooms. In the present study, we initially outline the digital learning environments that have been developed within the European Erasmus+ project “STEM DIGITALIS” for teaching Climate Change. Then, the empirical research with 17 pre-service primary education teachers is described regarding their views on the educational use of digital tools and technologies for science teaching. The results highlight that pre-service teachers mainly recognize the potential of the digital tools for engaging students in inquiry -based activities as well as for increasing the authenticity of the learning environment.

Keywords: *experiment, experimental science teaching, digital technologies, climate change*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πείραμα στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Το πείραμα αποτελεί ένα από τα πιο ευρέως αξιοποιούμενα διδακτικά μέσα στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών (ΦΕ) δεδομένου ότι η διεξαγωγή πειραμάτων θεωρείται ότι συμβάλλει αφενός στην επεξεργασία και βαθύτερη κατανόηση του επιστημονικού περιεχομένου από πλευράς των μαθητών/-τριων και αφετέρου στην καλλιέργεια των διερευνητικών τους δεξιοτήτων εξοικειώνοντας τους με την επιστημονική μεθοδολογία, τον επιστημονικό τρόπο σκέψης αλλά και με πτυχές της φύσης της επιστήμης και της επιστημονικής έρευνας (Duit & Tesch, 2010 · Koronen & Mäntylä, 2006 · Hofstein & Lunetta, 2004). Οι πειραματικές διαδικασίες εμπλέκουν τους μαθητές/-τριες με διαδικασίες παρατήρησης, διατύπωσης υποθέσεων, συλλογής δεδομένων, καταγραφής μετρήσεων, ανάλυσης των δεδομένων, ερμηνείας των αποτελεσμάτων, διατύπωσης και επικοινωνίας συμπερασμάτων. Πέραν όμως της εμπλοκής των μαθητών/-τριών με τις προαναφερθείσες διαδικασίες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση εννοιολογικού πλαισίου (*minds-on*), η διεξαγωγή πειραμάτων προωθεί ταυτόχρονα και την καλλιέργεια των πρακτικών δεξιοτήτων των μαθητών/-

τριών μέσα από την επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού, το χειρισμό αναλογικών και ψηφιακών οργάνων κλπ. (*hands-on*). Ωστόσο, για την οικοδόμηση της νέας γνώσης από τους μαθητές/-τριες δεν αρκεί η διεξαγωγή πειραμάτων χωρίς αυτή να συνοδεύεται από την κατάλληλη διαπραγμάτευση της διαδικασίας με τον/την εκπαιδευτικό και τους υπόλοιπους μαθητές/-τριες (Duit & Tesch, 2010 · Kluge, 2014). Έρευνες έχουν δείξει ότι για την επίτευξη των επιθυμητών μαθησιακών αποτελεσμάτων απαιτείται εκτός από την εμπλοκή με *hands-on* δραστηριότητες, η διαμόρφωση κατάλληλων αυθεντικών μαθησιακών περιβαλλόντων που θα προκαλούν τις ιδέες και προγενέστερες γνώσεις των μαθητών/-τριών και θα επιτρέπουν τη σύνδεση της πράξης αφενός με την καθημερινότητα τους και αφετέρου με την επιστημονική θεωρία (Duit & Tesch, 2010 · Kluge, 2014). Παράλληλα, έχει διαπιστωθεί ότι κατά την υλοποίηση πειραμάτων από τους ίδιους τους μαθητές/-τριες, αυτοί/-ές τείνουν να δίνουν έμφαση κυρίως σε πρακτικά και οργανωτικά ζητήματα ενώ ταυτόχρονα λόγω της απόκλισης των δικών τους προσωπικών ιδεών από τις επιστημονικά ορθές τείνουν να αντιλαμβάνονται τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα (πχ. στοχοθεσία πειράματος, παρατηρήσεις κλπ.) και να ερμηνεύουν τα αποτελέσματα μέσα από τα δικά τους νοητικά σχήματα. Συνεπώς, συχνά οι μαθητές/-τριες κατά την εμπλοκή σε πειραματικές διαδικασίες τείνουν να υιοθετούν μια πιο μηχανιστική προσέγγιση ακολουθώντας τις οδηγίες και τα βήματα που έχουν προκαθοριστεί από άλλους γεγονός που καθιστά αναγκαία την υιοθέτηση ενός ενεργού ρόλου από τον/την εκπαιδευτικό κατά τη διδακτική πράξη (Duit & Tesch, 2010 · Ferreira & Morais, 2013).

Ψηφιακά εργαλεία & Πειραματική διαδικασία

Η διεξαγωγή πειραμάτων, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, παρέχει στους μαθητές/-τριες μια αυθεντική μαθησιακή εμπειρία βασισμένη στην αξιοποίηση χειραπτικών υλικών και μέσων από τους ίδιους τους μαθητές/-τριες ενώ ταυτόχρονα συμβάλλει στην εξοικειώσή τους με επιστημονικές πρακτικές και δεξιότητες (Duit & Tesch, 2010). Ωστόσο, δεδομένου ότι η διεξαγωγή πειραμάτων είναι μια αρκετά απαιτητική διαδικασία τόσο για τους μαθητές/-τριες όσο και για τους εκπαιδευτικούς, στη βιβλιογραφία συχνά προτείνεται η ταυτόχρονη αξιοποίηση ψηφιακών και τεχνολογικών μέσων, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά παρέχοντας δυνατότητες για πολλαπλές αναπαραστάσεις των υπό μελέτη φαινομένων, μεγεθών, συσχετίσεων αλλά και για ενίσχυση της εστίασης των μαθητών/-τριών στις εκάστοτε εννοιολογικές πτυχές που εξετάζονται (De Jong et al. 2013 · Zacharia et al., 2012 · Kluge, 2014 · Wörner et al., 2022). Επιπλέον, οι νέες τεχνολογίες και τα ψηφιακά εργαλεία, ιδιαίτερα όταν η αξιοποίησή τους συνδυάζεται με καινοτόμες παιδαγωγικές και διδακτικές πρακτικές, θεωρείται ότι μπορούν να εμπλουτίσουν τη μαθησιακή εμπειρία των μαθητών/-τριών παρέχοντας επιπρόσθετες ευκαιρίες για i. εμπλοκή με διερευνητικές διαδικασίες, ii. σύνδεση των προσωπικών εμπειριών με άλλες εμπειρίες και γεγονότα του πραγματικού κόσμου, iii. ανατροφοδότηση και εμπλοκή με μεταγνωστικές διαδικασίες, iv. έλεγχο του ρυθμού και της διαδικασίας μάθησης (*self – management*) και v. κοινωνική αλληλεπίδραση μεταξύ των συμμετεχόντων (Kim et al., 2019 · Rocha Fernandes et al., 2019 · Rutten et al., 2012 · Webb, 2012).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα ψηφιακά εργαλεία και νέες τεχνολογίες που ενσωματώνονται πιο συχνά στην εκπαιδευτική πρακτική για την υποστήριξη μιας διδασκαλίας ΦΕ περιλαμβάνουν: αισθητήρες για λήψη μετρήσεων (*sensors*), προσομοιώσεις (*simulations*), εργαλεία οπτικοποίησης φαινομένων (*dynamic visualization tools*), εικονικά εργαστήρια (*virtual labs*), εφαρμογές για κινητές συσκευές (*apps for mobile devices*), εκπαιδευτική ρομποτική (*educational robotics*), ψηφιακά παιχνίδια (*gaming & technology – mediates play*) καθώς και εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας (*virtual & augmented reality apps*) (πχ. Becker et al., 2020 · Oliveira et al., 2019). Τα παραπάνω ψηφιακά εργαλεία και νέες τεχνολογίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις ακόλουθες ευρύτερες κατηγορίες:

- Ψηφιακά περιβάλλοντα με εμπύθιση (*Immersive learning environments*): Τα δισδιάστατα (2D) και τρισδιάστατα (3D) περιβάλλοντα μάθησης όπως είναι τα ψηφιακά παιχνίδια, οι εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας παρέχουν στους χρήστες εμπειρίες παιχνιδοποίησης αλλά και δυνατότητες αυτονομίας στην πλοήγηση με στόχο τη συλλογή πληροφοριών και δεδομένων (πχ. Ibáñez & Delgado-Kloos, 2017· Murillo-Zamorano et al. 2023 · Zourmpakis et al., 2023).
- Παραμετροποιήσιμα μαθησιακά περιβάλλοντα (*Configurable digital resources*): Τα ψηφιακά εργαλεία αυτής της κατηγορίας επιτρέπουν στους χρήστες τον χειρισμό και την τροποποίηση παραμέτρων σε ένα πείραμα ή μοντέλο με στόχο την λήψη αντίστοιχων δεδομένων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εργαλείων αυτής της κατηγορίας είναι οι προσομοιώσεις (πχ. Zacharia, 2005).
- Εργαλεία για επεξεργασία πραγματικών δεδομένων (*Real data processors*): Τα εργαλεία αυτής της κατηγορίας επιτρέπουν στους χρήστες την αναπαράσταση, επεξεργασία και ανάλυση πραγματικών δεδομένων συχνά σε πραγματικό χρόνο υποστηρίζοντας με αυτό τον τρόπο την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και τη διαμόρφωση γενικεύσεων και συμπερασμάτων. (πχ. Pliaki et al., 2019· Niryakis & Stavrou, 2022).
- Ψηφιακοί διαδραστικοί πόροι (*Digital Interactive Resources*): Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα εργαλεία εκείνα που παρέχουν τη δυνατότητα στους χρήστες να συλλέγουν με έναν αλληλεπιδραστικό και οργανωμένο τρόπο τα δεδομένα και τις πληροφορίες που απαιτούνται για την διεξαγωγή μιας μικρής έρευνας όπως είναι για παράδειγμα τα διαδραστικά video-πειράματα (Hatherly et al., 2009).
- Εργαλεία για διαμοιρασμό δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (*Real time sharing tools*): Τα εργαλεία αυτά παρέχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας και συνεργασίας μεταξύ των χρηστών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου εργαλείου είναι τα κοινόχρηστα αρχεία και πίνακες, που υποστηρίζουν την ανταλλαγή σχολίων μεταξύ των χρηστών καθώς και την συλλογική εργασία για ένα κοινό αποτέλεσμα.

Απόψεις εκπαιδευτικών για την αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων στη διδασκαλία

Έρευνες αναφορικά με τη χρήση ψηφιακών εργαλείων και νέων τεχνολογιών στην εκπαιδευτική διαδικασία έχουν αναδείξει μια σημαντική συσχέτιση μεταξύ του τρόπου αξιοποίησης των ψηφιακών εργαλείων και των επιδόσεων των μαθητών/-τριών (Webb, 2012). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει τη σημασία του ρόλου του/ της εκπαιδευτικού και των επιλογών του/της σε επίπεδο παιδαγωγικών και διδακτικών προσεγγίσεων για την ενσωμάτωση των ψηφιακών εργαλείων και νέων τεχνολογιών στην διδακτική πράξη. Συνεπώς, ένας παράγοντας που μελετάται στη βιβλιογραφία σχετικά με την ενσωμάτωση ψηφιακών εργαλείων και νέων τεχνολογιών στην εκπαιδευτική διαδικασία σχετίζεται με τις απόψεις των εκπαιδευτικών αναφορικά αφενός με τα ίδια τα ψηφιακά μέσα και αφετέρου τις δυνατότητες που παρέχουν τα ψηφιακά μέσα για τον σχεδιασμό περιβαλλόντων μάθησης (Hillmayr et al., 2020). Μια πρόσφατη έρευνα σε εκπαιδευτικούς δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης από 12 χώρες (Fraillon et al., 2019 · Hillmayr et al., 2020) έδειξε ότι το 87% των συμμετεχόντων στην έρευνα αναγνωρίζει ότι η αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων και μέσων συμβάλλει στην προσαρμογή της μαθησιακής διαδικασίας στις ανάγκες των μαθητών/-τριών, το 78% δίνει έμφαση στις δυνατότητες που παρέχουν τα ψηφιακά μέσα για συνεργασία μεταξύ των εκάστοτε μαθητευόμενων ενώ το 91% τονίζει την αύξηση της πρόκληση του ενδιαφέροντος των μαθητών/-τριών ως ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα αξιοποίησης ψηφιακών μέσων στη διδασκαλία. Ωστόσο, στην ίδια έρευνα (Fraillon et al., 2019 · Hillmayr et al., 2020) το 37% των συμμετεχόντων ανέφεραν ότι η αξιοποίηση ψηφιακών μέσων και εργαλείων στην διδασκαλία μπορεί να λειτουργήσει αποσπασματικά για τους μαθητές/-τριες ενώ το 23% ανέφεραν ότι εμποδίζει βαθύτερη κατανόηση των εννοιών προς διαπραγμάτευση.

Με βάση λοιπόν την αξία ενσωμάτωσης ψηφιακών εργαλείων και τεχνολογιών στην διδασκαλία των ΦΕ για την υποστήριξη της πειραματικής διαδικασίας και δεδομένου ότι οι απόψεις των εκπαιδευτικών για την αξιοποίηση τέτοιων μέσων στη διδασκαλία μπορεί να έχει καθοριστική σημασία για τον τρόπο αξιοποίησης τους στην εκπαιδευτική πράξη, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των απόψεων μελλοντικών εκπαιδευτικών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με την χρήση ψηφιακών εργαλείων στη διδασκαλία των ΦΕ και συγκεκριμένα για τη διδασκαλία ενός σύγχρονου STEM αντικειμένου όπως είναι αυτό της Κλιματικής Αλλαγής. Συνεπώς, το ερευνητικό ερώτημα που καθοδηγεί την παρούσα εργασία είναι: *Ποιες είναι οι απόψεις μελλοντικών εκπαιδευτικών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης για την διδακτική αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων και νέων τεχνολογιών στη διδασκαλία της Κλιματικής Αλλαγής;*

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ανάπτυξη ψηφιακού διδακτικού υλικού

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος Erasmus+ “STEM DIGITALIS” το οποίο αποτέλεσε μια σύμπραξη ανάμεσα σε πέντε ακαδημαϊκά ιδρύματα από ισάριθμες χώρες της Ευρώπης και συγκεκριμένα την Ελλάδα, τη Γερμανία, την Εσθονία, την Ολλανδία και την Ιρλανδία (<https://stemdigitalis-project.eu/>). Σκοπός του προγράμματος ήταν αφενός η ψηφιοποίηση STEM δραστηριοτήτων και αφετέρου η ανάπτυξη μικτών περιβαλλόντων μάθησης (*blended learning environments*) για την εκπαίδευση μελλοντικών εκπαιδευτικών πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σε σύγχρονα STEM αντικείμενα. Στα πλαίσια του προγράμματος αναπτύχθηκαν συνολικά πέντε ψηφιακά διδακτικά σενάρια στις εξής STEM θεματικές: i) Κλιματική Αλλαγή (ΚΑ) (*Climate change*), ii) Συμβολομετρία (*Interferometry*), iii) Ωκεάνιες Μπαταρίες & Ενεργειακές Φάρμες (*Ocean batteries & energy farms*), iv) Οικιακή Ενέργεια (*Energy at home*) και v) Ποιότητα του Νερού (*Water quality*) καθώς και διδακτικές στρατηγικές για την αξιοποίηση αυτών των διδακτικών σεναρίων σε περιβάλλοντα μικτής μάθησης.

Η ερευνητική ομάδα του Εργαστηρίου Διδακτικής Θετικών Επιστημών (ΕΔΘΕ) του Πανεπιστημίου Κρήτης σχεδίασε και ανέπτυξε το ψηφιακό διδακτικό σενάριο για την ΚΑ, το οποίο διαρθρώνεται σε τρεις επιμέρους ενότητες. Σκοπός του διδακτικού σεναρίου είναι οι φοιτητές/-τριες να εξοικειωθούν με τις θεμελιώδεις έννοιες και διαστάσεις της ΚΑ όπως είναι α. τα αίτια, β. οι επιπτώσεις, γ. τα προτεινόμενα μέτρα προσαρμογής και αντιμετώπισης αυτών των επιπτώσεων καθώς και δ. οι κοινωνικές προεκτάσεις της ΚΑ.

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή του περιεχομένου, των ψηφιακών δραστηριοτήτων και των εργαλείων που αξιοποιήθηκαν σε κάθε μια από τις ενότητες του διδακτικού σεναρίου.

Ενότητα 1: Αιτιώδης μηχανισμός πρόκλησης ΚΑ

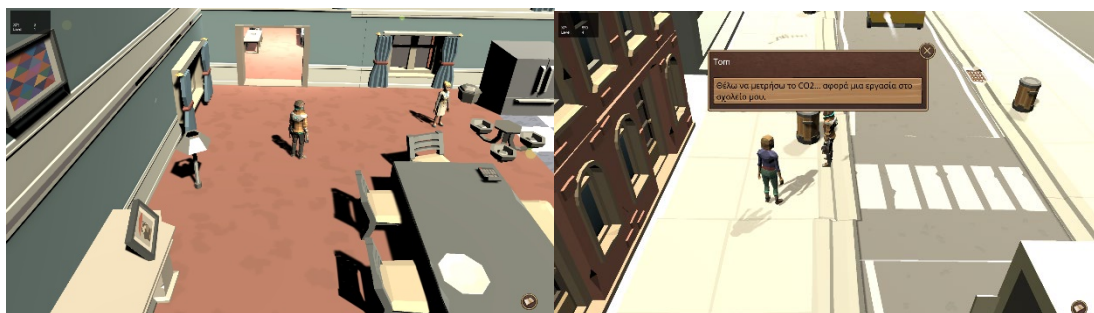
Στόχος της πρώτης ενότητας του διδακτικού σεναρίου είναι οι φοιτητές/-τριες να αναγνωρίσουν την συσχέτιση μεταξύ της αύξησης της θερμοκρασίας που σημειώνεται τις τελευταίες δεκαετίες και της αύξησης της συγκέντρωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα.

Η ενότητα αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος, οι φοιτητές/-τριες εισάγονται στις θεμελιώδεις έννοιες της ενότητας μέσα από την ανάγνωση και επεξεργασία δύο άρθρων από εφημερίδες τα οποία αφορούν στους στόχους και τις αποφάσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) σχετικά με τον ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας και την κλιματική ουδετερότητα ως το 2030 και 2050 αντίστοιχα. Στο δεύτερο μέρος της ενότητας οι φοιτητές/-τριες καλούνται να επεξεργαστούν πραγματικά δεδομένα (*real data*) από τον σταθμό Mauna Loa της Χαβάης (<https://gml.noaa.gov/obop/mlo/>) σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα τις τελευταίες δεκαετίες ώστε να διαμορφώσουν τα τελικά τους συμπεράσματα αναφορικά με τη μεταξύ τους συσχέτιση.

Για την υλοποίηση των παραπάνω αναπτύχθηκαν τα ακόλουθα ψηφιακά περιβάλλοντα:

1.1. Ψηφιακό Εκπαιδευτικό Παιχνίδι

Το ψηφιακό εκπαιδευτικό παιχνίδι αναπτύχθηκε μέσω της πλατφόρμας παιχνιδοποίησης UNITY και αποτελεί ένα περιβάλλον μάθησης με εμβύθιση (*Immersive learning environment*) (http://stemdigitalis-project.eu/unityGame_UoC_final_en.zip). Στα πλαίσια της ενότητας 1, το ψηφιακό παιχνίδι αποτελεί το περιβάλλον μέσα στο οποίο οι φοιτητές/-τριες συλλέγουν και συγκρίνουν τα δεδομένα που καλούνται να επεξεργαστούν ώστε να διαμορφώσουν τα τελικά τους συμπεράσματα αναφορικά με την συσχέτιση της αύξησης της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα τα τελευταία 40 χρόνια. Ο πρωταγωνιστής του παιχνιδιού είναι ένας φοιτητής που θέλει να συλλέξει επιστημονικά δεδομένα τα οποία να υποστηρίζουν τις αποφάσεις της ΕΕ για το κλίμα. Κατά την αναζήτηση των επιστημονικών δεδομένων, ο πρωταγωνιστής του παιχνιδιού συναντά μια ερευνήτρια του κλίματος στο εργαστήριό της. Μέσω μιας χρονομηχανής, που έχει αναπτύξει η ερευνήτρια, ο πρωταγωνιστής «ταξιδεύει» στις τέσσερις προηγούμενες δεκαετίες, χωρίς όμως να γνωρίζει σε ποια δεκαετία βρίσκεται (Εικόνα 1).

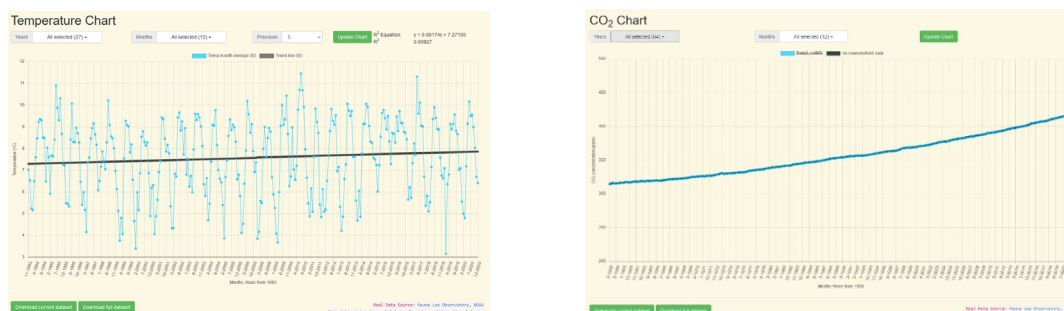


Εικόνα 1. Στιγμιότυπα από το περιβάλλον του ψηφιακού παιχνιδιού

Μια σειρά από ερωτήσεις/απαντήσεις σε πολίτη της κάθε περιόδου, οδηγεί τον πρωταγωνιστή να αναζητήσει και να ανακαλύψει τα δεδομένα της εκάστοτε περιόδου. Τα δεδομένα που συλλέγει αφορούν το ύψος της μέσης θερμοκρασίας της Γης και της συγκέντρωσης των εκπομπών του CO₂ στην ατμόσφαιρα κατά τη δεκαετία που έχει επισκεφθεί. Τα δεδομένα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του πρωταγωνιστή στις 4 δεκαετίες είναι σε μορφή γραφικής παράστασης (βλ. 1.2. Διαδραστικές γραφικές παραστάσεις). Προκειμένου ο χρήστης να μπορέσει να λάβει τις γραφικές παραστάσεις, αξιοποιείται κάποιο φορητό έξυπνο μέσο (κινητό, tablet κτλ.), για να σαρώσει τις αντίστοιχες εικόνες QR που παρουσιάζονται στη διάρκεια του παιχνιδιού. Αφού ο πρωταγωνιστής έχει ταξιδέψει στις διαφορετικές δεκαετίες και έχει συλλέξει τα δεδομένα θερμοκρασίας και συγκέντρωσης εκπομπών CO₂ μέσω γραφικών παραστάσεων, ο χρήστης καλείται να συνδυάσει και να σειροθετήσει αυτές τις γραφικές παραστάσεις ώστε τελικά να διαμορφώσει τα συμπεράσματά του για τη μεταξύ τους συσχέτιση.

1.2. Διαδραστικές γραφικές παραστάσεις

Οι διαδραστικές γραφικές παραστάσεις αναπτύχθηκαν αξιοποιώντας εργαλεία html. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι επιτρέπουν στον χρήστη την επιλογή συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος στο εύρος των τελευταίων σαράντα ετών. Η μια διαδραστική γραφική παράσταση αφορά στην απεικόνιση των τιμών θερμοκρασίας (<https://edthe.edc.uoc.gr/climateChange/temp.html>) ενώ η δεύτερη στην απεικόνιση της συγκέντρωσης των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα (<https://edthe.edc.uoc.gr/climateChange/co2.html>) (Εικόνα 2) τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες βασιζόμενοι στα πραγματικά δεδομένα του σταθμού μετρήσεων Mauna Loa της Χαβάης. Στη γραφική παράσταση της θερμοκρασίας εκτός από την απεικόνιση των τιμών του επιλεγμένου χρονικού διαστήματος, παρέχεται η δυνατότητα να εμφανιστεί η γραμμή παλινδρόμησης (*regression line*) για την επιλεγμένη χρονική περίοδο ενώ παράλληλα ο χρήστης μπορεί να δει άμεσα τις αλλαγές θερμοκρασίας καθώς και την τάση που υπάρχει για το επιλεγμένο χρονικό διάστημα. Στη γραφική παράσταση της συγκέντρωσης των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα παρέχεται η δυνατότητα εμφάνισης των δεδομένων χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι εποχιακές διακυμάνσεις (*de-seasonalized*) προκειμένου να κατανοηθούν πιο εύκολα οι υποκείμενες τάσεις. Οι διαδραστικές γραφικές παραστάσεις στα πλαίσια της ενότητας 1 του διδακτικού σεναρίου της ΚΑ δεν αξιοποιούνται μεμονωμένα αλλά περιλαμβάνονται στη ροή του ψηφιακού παιχνιδιού που περιγράφηκε παραπάνω.

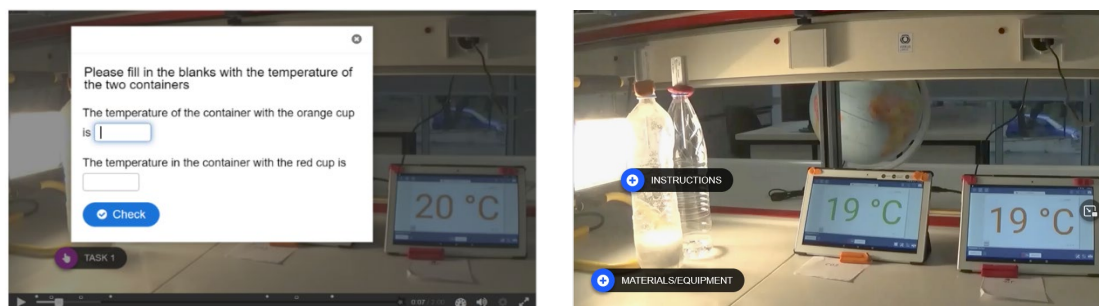


Εικόνα 2. Στιγμιότυπο από τη γραφική παράσταση της θερμοκρασίας & της συγκέντρωσης των εκπομπών CO₂

1.3. Διαδραστικό video-πείραμα

Το διαδραστικό video-πείραμα αναπτύχθηκε αξιοποιώντας εργαλεία H5P και αποτελεί έναν διαδραστικό πόρο (*Digital interactive resource*) που υποστηρίζει τη διερευνητική διαδικασία μέσα από τις δυνατότητες που παρέχει στο χρήστη για διατύπωση προβλέψεων, καταγραφή μετρήσεων, εξαγωγή συμπερασμάτων κλπ. (http://h5p.edthe.edc.uoc.gr/co2_stemdigitalis/) (Εικόνα 3). Το διαδραστικό video-πείραμα παρουσιάζει την πορεία εξέλιξης ενός πραγματικού πειράματος που διαπραγματεύεται τη συσχέτιση αυξημένης συγκέντρωσης CO₂ και αύξησης της θερμοκρασίας σε μια φιάλη μέσω της χρήσης ασύρματων αισθητήρων θερμοκρασίας. Στο video – πείραμα έχουν ενσωματωθεί hotspots που οδηγούν το χρήστη στις οδηγίες, τα υλικά του πειράματος καθώς και άλλους εξωτερικούς συνδέσμους (πχ. κοινόχρηστα αρχεία, padlets κλπ.) για τον διαμοιρασμό των απόψεων και συμπερασμάτων των χρηστών κατά τη διαδικασία υλοποίησης της δραστηριότητας. Στα πλαίσια της

ενότητας 1 του διδακτικού σεναρίου της ΚΑ το video-πείραμα δεν αξιοποιείται μεμονωμένα αλλά περιλαμβάνεται στη ροή του ψηφιακού παιχνιδιού που περιγράφηκε παραπάνω.



Εικόνα 3. Στιγμιότυπα από το διαδραστικό video-πείραμα

Ενότητα 2: Ανθρωπογενείς δραστηριότητες & ΚΑ

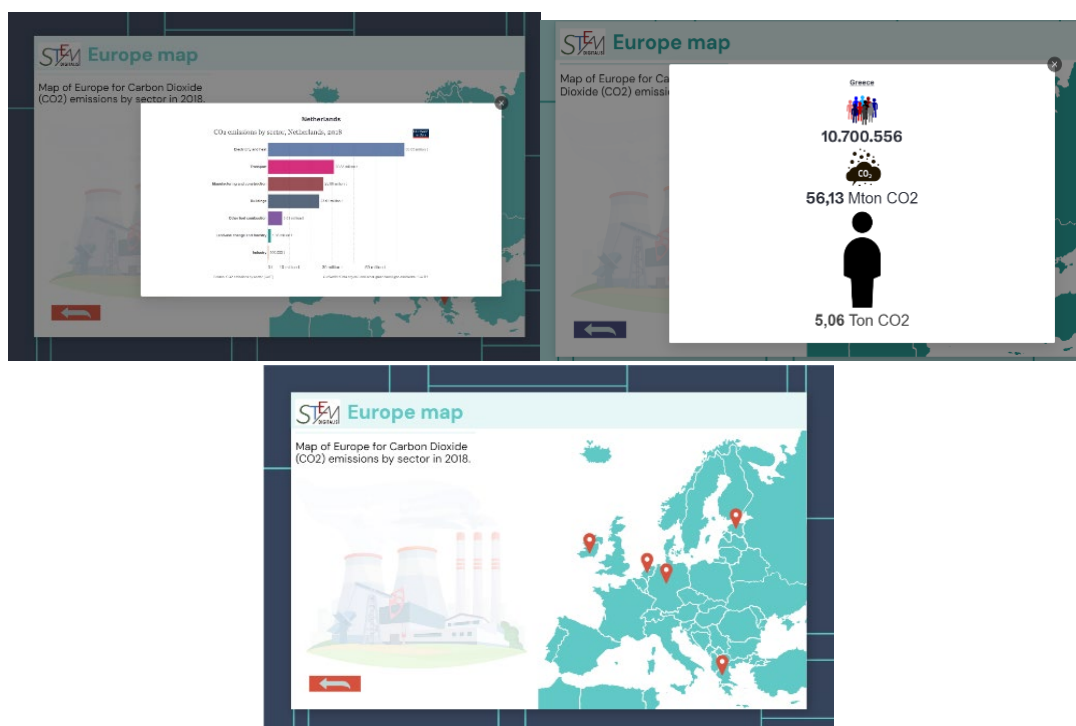
Στόχος της δεύτερης ενότητας του διδακτικού σεναρίου είναι οι φοιτητές/-τριες να εξοικειωθούν με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που συνεισφέρουν στην αύξηση της συγκέντρωσης των εκπομπών CO₂ και να υπολογίσουν το προσωπικό τους ανθρακικό αποτύπωμα (*carbon footprint*) λόγω χρήσης οικιακών ηλεκτρικών συσκευών και αστικών μετακινήσεων. Επιπρόσθετα, η δεύτερη ενότητα του διδακτικού σεναρίου της ΚΑ στοχεύει στην εξοικείωση των φοιτητών/-τριων με διάφορες μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

Η ενότητα αποτελείται από τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος, οι φοιτητές/-τριες επεξεργάζονται δεδομένα αναφορικά με τις ετήσιες και κατά κεφαλήν εκπομπές CO₂ σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες καθώς και στο είδος των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που συνεισφέρουν περισσότερο σε αυτές τις εκπομπές. Στο δεύτερο μέρος της ενότητας οι φοιτητές/-τριες υπολογίζουν το ανθρακικό τους αποτύπωμα βάση καθημερινών επιλογών σε μετακίνηση και χρήση ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Τέλος, στο τρίτο μέρος οι εκπαιδευόμενοι/-ες καλούνται να συγκρίνουν τις εκπομπές CO₂ που οφείλονται στη χρήση ηλεκτρικών οικιακών συσκευών με τις αντίστοιχες εκπομπές CO₂ αν η παραγωγή ενέργειας βασιζόταν αποκλειστικά σε διαφορετικές μορφές ΑΠΕ όπως ηλιακή, αιολική, γεωθερμία, πυρηνική κλπ. ώστε να διαμορφώσουν τελικά τα συμπεράσματά τους αναφορικά με την συνεισφορά των ΑΠΕ ως μέτρο μετριασμού και αντιμετώπισης της ΚΑ. Για την υλοποίηση των παραπάνω αναπτύχθηκαν τα ακόλουθα ψηφιακά περιβάλλοντα:

2.1. Διαδραστικές εικόνες

Οι διαδραστικές εικόνες αναπτύχθηκαν μέσω του εργαλείου ανάπτυξης διαδραστικού περιεχομένου Genially και αποτελούν διαδραστικούς πόρους (*Interactive resources*) που υποστηρίζουν την πρόσβαση των φοιτητών/-τριων σε δεδομένα σχετικά i. με τις ετήσιες εκπομπές CO₂ σε κάθε μια από τις πέντε ευρωπαϊκές χώρες που συμμετείχαν στο πρόγραμμα “STEM DIGITALIS” δηλαδή τις Ελλάδα, Γερμανία, Ολλανδία, Ιρλανδία και Εσθονία (<https://view.genially.com/62c86a4d281281001128ef94/interactive-content-copy->

[eyrwpaikos-xarths-ekpompwn-co2](https://view.genially.com/62c839b8d7de75001c4644bb/interactive-content-copy-eyrwpaikos-xarths-ekpompwn-co2)) και ii. τις ετήσιες εκπομπές CO₂ σε κάθε μια από τις προαναφερθείσες χώρες ανά τομέα ανθρώπινης δραστηριότητας όπως Ηλεκτρισμός – Θέρμανση, Μεταφορές, Βιομηχανία, κλπ. (<https://view.genially.com/62c839b8d7de75001c4644bb/interactive-content-copy-eyrwpaikos-xarths-ekpompwn-co2>) (Εικόνα 4). Οι διαδραστικές εικόνες έχουν ενσωματωμένα hotspots και επιτρέπουν στους φοιτητές/-τριες την πρόσβαση στις πληροφορίες και τα δεδομένα που περιέχονται στις εικόνες.



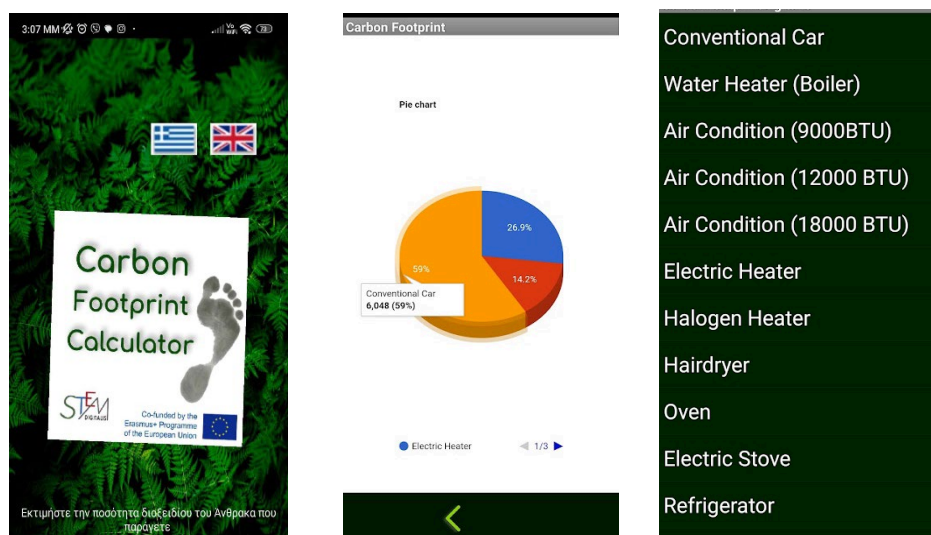
Εικόνα 4. Στιγμιότυπα από τις διαδραστικές εικόνες

2.2. Εφαρμογή για έξυπνες συσκευές

Η εφαρμογή για έξυπνες συσκευές αναπτύχθηκε αξιοποιώντας το εργαλείο App Inventor

(https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai_chalkia_duck.CarbonDigitalis_SeKykloforia&hl=el). Η εφαρμογή αφορά στον υπολογισμό του προσωπικού ανθρακικού αποτυπώματος των φοιτητών/-τριων με βάση τις επιλογές τους σε δύο κατηγορίες της ανθρώπινης δραστηριότητας που θεωρείται ότι συνεισφέρουν περισσότερο στην αύξηση της συγκέντρωσης των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα όπως είναι η μετακίνηση και η χρήση ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Στην κατηγορία της μετακίνησης υπάρχουν διάφορα μέσα μεταφοράς και οχήματα, όπως αυτοκίνητο, λεωφορείο, τρένο κλπ. με αντίστοιχη επιλογή της απόστασης που διανύουμε σε χιλιόμετρα καθημερινά. Η κατηγορία των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών περιέχει συσκευές όπως καλοριφέρ, ηλεκτρική κουζίνα, ψυγείο, τηλεόραση,

υπολογιστής, θερμοσίφωνα κλπ. με αντίστοιχη επιλογή στο χρόνο χρήσης των συσκευών σε καθημερινή βάση. Μόλις ο χρήστης συμπληρώσει τη λίστα των οικιακών ηλεκτρικών συσκευών και μέσων μεταφοράς που χρησιμοποιεί στην καθημερινότητα του, η εφαρμογή παρουσιάζει ένα κυκλικό ένα διάγραμμα (Εικόνα 5), αποτυπώνοντας το ποσοστό συνεισφοράς της κάθε συσκευής ή μέσου μεταφοράς στο συνολικό ποσό εκπομπής CO₂ του ατόμου.



Εικόνα 5. Στιγμιότυπα από την εφαρμογή για υπολογισμό του προσωπικού αποτυπώματος CO₂

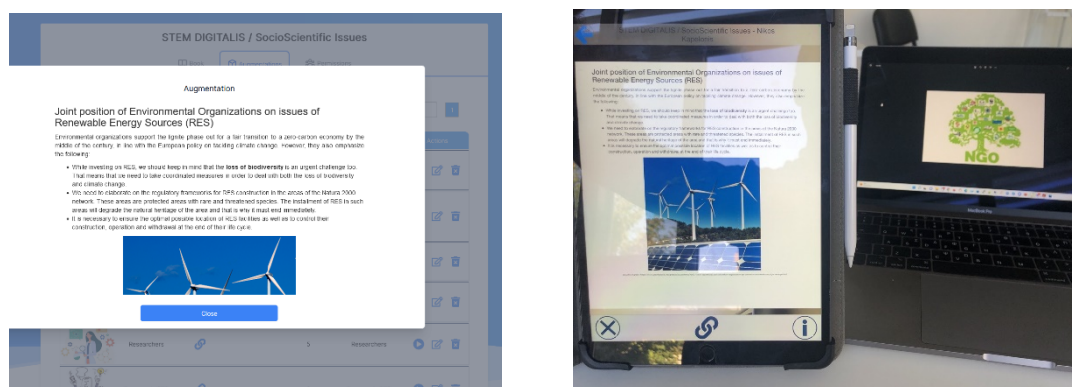
Ενότητα 3: ΚΑ ως κοινωνικοεπιστημονικό ζήτημα

Στόχος της τρίτης ενότητας του ψηφιακού διδακτικού σεναρίου της ΚΑ είναι οι φοιτητές/-τριες να εξοικειωθούν με τις οπτικές ποικίλων φορέων σχετικά με ένα κοινωνικοεπιστημονικό ζήτημα που σχετίζεται με τις προτεινόμενες λύσης μετριασμού και αντιμετώπισης της ΚΑ και να συμμετέχουν σε μια δραστηριότητα debate ώστε να εκφράσουν τις απόψεις και τα επιχειρήματά τους σχετικά με το ζήτημα υπό διαπραγμάτευση. Πιο συγκεκριμένα, το κοινωνικοεπιστημονικό ζήτημα με το οποίο έρχονται σε επαφή οι εκπαιδευόμενοι σχετίζεται με την απολιγνιτοποίηση της Ελλάδας και συγκεκριμένα το δίλημμα στο οποίο καλούνται να πάρουν θέση είναι το ακόλουθο: «Φανταστείτε ότι είστε κάτοικος μιας περιοχής στην οποία υπάρχουν εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω καύσης λιγνίτη. Έπειτα από τις έντονες συζητήσεις του τελευταίου καιρού αναφορικά με την μετάβαση στη μεταλιγνιτική εποχή (post – lignite era), καλείστε να συμμετάσχετε σε μια συζήτηση για τη σταδιακή κατάργηση του λιγνίτη. Συγκεκριμένα, καλείστε να είστε μέλος μιας ομάδας τοπικών αρχών και κατοίκων ώστε να συζητήσετε εάν συμφωνείτε ή όχι με την οριστική κατάργηση της λειτουργίας των λιγνιτικών σταθμών στην περιοχή σας και την αντικατάστασή τους από αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα».

Η ενότητα 3 αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος, οι φοιτητές/-τριες συζητούν δεδομένα σχετικά με το ενεργειακό μίγμα ποικίλων ευρωπαϊκών χωρών και αναζητούν τους λόγους για τους οποίους η Ελλάδα στήριζε την παραγωγή ενέργειας της στον λιγνίτη κατά τις προηγούμενες δεκαετίες. Στο δεύτερο μέρος της ενότητας, οι φοιτητές/-τριες εξετάζουν τις οπτικές ποικίλων φορέων αναφορικά με την απολιγνιτοποίηση της Ελλάδας και την αντικατάσταση των λιγνιτικών εργοστασίων με αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα και συμμετέχουν σε ένα debate προκειμένου να διαμορφώσουν επιχειρήματα και αντεπιχειρήματα βασιζόμενοι και στα επιστημονικά δεδομένα που έχουν έρθει σε επαφή κατά την υλοποίηση των εννοιών 1 και 2 του ψηφιακού διδακτικού σεναρίου. Για την υλοποίηση των παραπάνω αναπτύχθηκε το ακόλουθο ψηφιακό περιβάλλον:

3.1. Εφαρμογή Επαυξημένης Πραγματικότητας

Η εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας αναπτύχθηκε μέσω του εργαλείου AR Tutor και αποτελεί ένα περιβάλλον μάθησης με εμπύθιση (*Immersive learning environment*) (Εικόνα 6). Η συγκεκριμένη εφαρμογή απαιτεί τη χρήση έξυπνων συσκευών όπως κινητά τηλέφωνα ή tablets ώστε ο χρήστης να σαρώσει εικόνες εμπλεκόμενων φορέων και να αποκτήσει μέσω αυτής της σάρωσης πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικές με τον εκάστοτε φορέα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι φοιτητές/-τριες έρχονται σε επαφή με τις απόψεις για την απολιγνιτοποίηση και την αξιοποίηση ΑΠΕ i. της ΕΕ, ii. Μη κυβερνητικών περιβαλλοντικών οργανώσεων, iii. Ακτιβιστών, iv. Κατοίκων περιοχής που πρόκειται να φτιαχτούν αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα, v. Επιστημόνων του κλίματος και vi. Εταιριών ΑΠΕ. Αφού οι εκπαιδευόμενοι αντλήσουν αυτές τις πληροφορίες, τις συζητούν σε ομάδες και διατυπώνουν τα επιχειρήματά τους αναφορικά με τον κοινωνικοεπιστημονικό προβληματισμό που τους έχει τεθεί.



Εικόνα 6. Στιγμιότυπα από την εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας

Σε όλες τις προαναφερθείσες ενότητες έχουν επιπλέον αξιοποιηθεί εργαλεία διαμοιρασμού σε πραγματικό χρόνο (*Real time sharing tools*) όπως είναι τα κοινόχρηστα αρχεία και πίνακες μέσω διαδικτύου (πχ. padlet dashboards, google share

documents κλπ.) τα οποία αξιοποιήθηκαν για να υποστηρίξουν αφενός την επικοινωνία μεταξύ των εκπαιδευόμενων και την ομαδική τους εργασία και αφετέρου την κοινοποίηση των απόψεων τους στην ολομέλεια.

Το ψηφιακό διδακτικό σενάριο για την ΚΑ εφαρμόστηκε σε μελλοντικούς εκπαιδευτικούς πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης κατά τα ακαδημαϊκά έτη 2022 και 2023 σε προπτυχιακά μαθήματα του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Κρήτης καθώς και σε ένα θερινό σχολείο που έλαβε χώρα στην Κρήτη τον Ιούλιο του 2022 με συμμετέχοντες φοιτητές/-τριες από τα πανεπιστημιακά ιδρύματα της κοινοπραξίας του προγράμματος “STEM DIGITALIS” .

Συμμετέχοντες εμπειρικής έρευνας

Οι συμμετέχοντες της παρούσας εμπειρικής έρευνας ήταν 17 φοιτητές και φοιτήτριες του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Κρήτης, οι οποίοι βρίσκονταν στο τρίτο έτος των σπουδών τους και οι οποίοι συμμετείχαν στο σεμιναριακό μάθημα «Ψηφιακές Τεχνολογίες στη Διεπιστημονική STEM εκπαίδευση». Σκοπός του συγκεκριμένου μαθήματος είναι οι φοιτητές/-τριες να εξοικειωθούν με την αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη διδασκαλιών βασισμένων στην STEM προσέγγιση. Οι συμμετέχοντες φοιτητές/-τριες είχαν ολοκληρώσει επιτυχώς τα δύο υποχρεωτικά μαθήματα του προγράμματος σπουδών του τομέα της διδακτικής των ΦΕ του τμήματος με τίτλο «Βασικές Έννοιες Φυσικής» και «Διδακτική Φυσικών Επιστημών» καθώς και τις αντίστοιχες εργαστηριακές ασκήσεις των μαθημάτων αυτών. Με βάση τα μαθήματα τα οποία είχαν παρακολουθήσει και ολοκληρώσει επιτυχώς οι συμμετέχοντες φοιτητές/-τριες, θεωρήθηκε ότι ήταν εξοικειωμένοι με τις βασικές θεωρητικές αρχές της διδασκαλίας των ΦΕ, την ανάπτυξη διδακτικού υλικού για βασικές έννοιες περιεχομένου καθώς και τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη πειραματικών δραστηριοτήτων. Οι συμμετέχοντες φοιτητές/-τριες δεν είχαν εκπαιδευτεί και δεν είχαν κάποια πρότερη εμπειρία σχετικά με την αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων στη διδασκαλία των ΦΕ και την STEM εκπαίδευση γενικότερα.

Πλαίσιο διεξαγωγής εμπειρικής έρευνας

Το σεμιναριακό μάθημα «Ψηφιακές Τεχνολογίες στη Διεπιστημονική STEM εκπαίδευση» έλαβε χώρα σε 13 τρίωρες συναντήσεις το εαρινό εξάμηνο του ακαδημαϊκού έτους 2022 – 2023. Κατά τη διάρκεια των συναντήσεων αυτών εφαρμόστηκε το ψηφιακό διδακτικό υλικό για την ΚΑ, που περιγράφηκε αναλυτικά παραπάνω, στους συμμετέχοντες φοιτητές/-τριες (Πίνακας 1) ώστε αρχικά να βιώσουν ως μαθητευόμενοι/-ες την αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων κατά την υλοποίηση μιας STEM διδασκαλίας επικεντρωμένης στην ΚΑ και στη συνέχεια να αναστοχαστούν ως μελλοντικοί εκπαιδευτικοί σχετικά με την αξιοποίηση αντίστοιχων εργαλείων και μέσων κατά την δόμηση των δικών τους διδασκαλιών.

Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων συναντήσεων οι φοιτητές/-τριες προσανατολίστηκαν γύρω από βασικές αρχές και διαστάσεις της STEM εκπαίδευσης καθώς και την αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων κατά την υλοποίηση STEM διδασκαλιών. Στις επόμενες έξι συναντήσεις εφάρμοσαν το ψηφιακό διδακτικό

υλικό που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος STEM DIGITALIS μέσω του οποίου εξοικειώθηκαν αφενός με θεμελιώδεις έννοιες της ΚΑ και αφετέρου με την αξιοποίηση ψηφιακών περιβαλλόντων στην STEM εκπαίδευση.

Πίνακας 1. Περιεχόμενο συναντήσεων

Συνάντηση	Αντικείμενο συνάντησης
1 ^η – 3 ^η	Προσανατολισμός φοιτητών/-τριών (STEM εκπαίδευση, ψηφιακά εργαλεία στη STEM εκπαίδευση)
4 ^η – 5 ^η	Εφαρμογή ενότητας 1: Αιτιώδης μηχανισμός πρόκλησης ΚΑ
6 ^η – 7 ^η	Εφαρμογή ενότητας 2: Ανθρωπογενείς δραστηριότητες & ΚΑ
8 ^η – 9 ^η	Εφαρμογή ενότητας 3: ΚΑ ως κοινωνικοεπιστημονικό ζήτημα
10 ^η – 12 ^η	Σχεδιασμός STEM διδασκαλιών από τους φοιτητές/-τριες αξιοποιώντας ψηφιακά εργαλεία
13 ^η	Αναστοχασμός

Έπειτα, στις επόμενες δύο συναντήσεις οι συμμετέχοντες φοιτητές/-τριες κλήθηκαν να αξιοποιήσουν τα ψηφιακά περιβάλλοντα που χρησιμοποιήσαν ώστε να σχεδιάσουν τις δικές τους διδασκαλίες σχετικά με έννοιες της ΚΑ ενώ στην τελευταία συνάντηση οι φοιτητές/-τριες αναστοχάστηκαν γύρω από την αξιοποίηση αυτών και αντίστοιχων ψηφιακών περιβαλλόντων στον σχεδιασμό και υλοποίηση STEM διδασκαλιών.

Συλλογή & Ανάλυση δεδομένων

Δεδομένα συλλέχθηκαν από α. τις ηχογραφήσεις όλων των συζητήσεων των φοιτητών/τριών κατά τη διάρκεια αφενός της εφαρμογής του ψηφιακού διδακτικού σεναρίου της ΚΑ και αφετέρου κατά τη διάρκεια σχεδιασμού των δικών τους διδασκαλιών καθώς και β. ένα ερωτηματολόγιο μικτού τύπου που δόθηκε στους φοιτητές/-τριες μετά τέλος της διαδικασίας επικεντρωμένο στις απόψεις τους για την διδακτική αξιοποίηση των ψηφιακών εργαλείων και περιβαλλόντων μάθησης στην STEM εκπαίδευση.

Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης περιεχομένου (Bryman, 2017). Πιο συγκεκριμένα, οι απόψεις των φοιτητών/-τριών εξετάστηκαν ως προς τις δυνατότητες και που αναγνωρίζουν αναφορικά με τη αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων και μέσων σε μια STEM διδασκαλία (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Κατηγοριοποίηση των δεδομένων

Κατηγορίες	Κριτήρια
Διερεύνηση	<ul style="list-style-type: none">• Διατύπωση προβλέψεων• Διαχείριση μεταβλητών• Οπτικοποίηση & διαχείριση δεδομένων• Επεξεργασία δεδομένων• Καταγραφή μετρήσεων

	<ul style="list-style-type: none">• Διατύπωση γενικεύσεων & συμπερασμάτων
Κοινωνική αλληλεπίδραση	<ul style="list-style-type: none">• Συνεργασία• Ανταλλαγή απόψεων• Δυνατότητα παροχής ανατροφοδότησης σε/ από συμμαθητή/-τρια
Αυθεντικότητα	<ul style="list-style-type: none">• Κίνητρο για εμπλοκή• Αύξηση ενδιαφέροντος• Εμπλοκή με πραγματικά δεδομένα• Σύνδεση με προσωπικές εμπειρίες
Πρακτικά ζητήματα	<ul style="list-style-type: none">• Ασφάλεια υλοποίησης διεξαγωγής πειραμάτων• Εξοικονόμηση εξοπλισμού• Εξοικονόμηση χρόνου

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με βάση την ανάλυση των δεδομένων, προέκυψε ότι οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί αναγνωρίζουν ως κυρίαρχες δυνατότητες αξιοποίησης των ψηφιακών μέσων σε μια STEM διδασκαλία την εμπλοκή των μαθητών/τριων με διερευνητικές διαδικασίες καθώς και τις ευκαιρίες που αυτά παρέχουν για διαμόρφωση αυθεντικών πλαισίων μάθησης (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Αποτελέσματα των απόψεων των φοιτητών/-τριων για τις δυνατότητες διδακτικής αξιοποίησης ψηφιακών εργαλείων

Κατηγορίες	Απόλυτη συχνότητα αναφορών
Διερεύνηση	22
Κοινωνική αλληλεπίδραση	7
Αυθεντικότητα	18
Πρακτικά ζητήματα	9

Πιο συγκεκριμένα, ως προς τη διερεύνηση η πλειοψηφία των μελλοντικών εκπαιδευτικών αναγνωρίζει την σημασία των ποικίλων δυνατοτήτων οπτικοποίησης δεδομένων που παρέχουν τα ψηφιακά μέσα γεγονός που συνεισφέρει στην αποτελεσματικότερη διαχείριση και επεξεργασία τους καθώς και τις δυνατότητες για γρήγορους υπολογισμούς και μετρήσεις. Ειδικότερα, έδωσαν ιδιαίτερη έμφαση στην αξία των διαδραστικών γραφικών παραστάσεων και εικόνων για την αναπαράσταση και οπτικοποίηση των υπό μελέτη δεδομένων γεγονός που θεωρούν ότι μπορεί να λειτουργήσει υποστηρικτικά στην ερμηνεία αυτών των δεδομένων και συνεπώς στη διατύπωση γενικεύσεων και συμπερασμάτων. Παράλληλα, αναγνώρισαν την δυνατότητα του διαδραστικού video-πειράματος για εξοικείωση των μαθητών/-τριων με διαδικασίες διατύπωσης προβλέψεων καθώς και της εφαρμογής για υπολογισμό του

ανθρακικού αποτυπώματος στην επεξεργασία και εκτέλεση γρήγορων υπολογισμών με βάση πραγματικά δεδομένα.

Ως προς την αυθεντικότητα των πλαισίων που διαμορφώνονται μέσα από την αξιοποίηση των ψηφιακών εργαλείων, τονίζεται η δυνατότητα σύνδεσης των υπό μελέτη εννοιών και δεδομένων με τις προσωπικές εμπειρίες των χρηστών καθώς και η αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών/-τριών για εμπλοκή λόγω του παιγνιώδους τρόπου με τον οποίο αποκτούν πρόσβαση στο υπό διαπραγμάτευση περιεχόμενο, δεδομένα και πληροφορίες. Ιδιαίτερη έμφαση έδωσαν στο ελκυστικό περιβάλλον του ψηφιακού παιχνιδιού καθώς και στην εφαρμογή για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος που δίνει τη δυνατότητα συνειδητοποίησης της προσωπικής συνεισφοράς στην ΚΑ. Ταυτόχρονα, σύμφωνα με τους μελλοντικούς εκπαιδευτικούς η αυθεντικότητα, που παρέχει στη διδακτική πράξη η αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων, αυξάνεται όταν εξετάζονται πραγματικά δεδομένα (*real data*) όπως στην περίπτωση της αξιοποίησης των διαδραστικών γραφικών παραστάσεων.

Επιπρόσθετα, οι συμμετέχοντες στην έρευνα μελλοντικοί εκπαιδευτικοί αναγνώρισαν ως πλεονέκτημα της αξιοποίησης ψηφιακών μέσων σε μια STEM διδασκαλία το γεγονός ότι εξοικονομείται πολύτιμος χρόνος και εξοπλισμός σε περίπτωση υλοποίησης μιας πειραματικής διαδικασίας που απαιτεί αρκετό χρόνο και εξειδικευμένα υλικά και εργαλεία. Συνεπώς, φαίνεται ότι οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί δίνουν έμφαση και στα πρακτικά - οργανωτικά ζητήματα αναφορικά με την υλοποίηση πειραματικών διαδικασιών σε μια STEM διδασκαλία. Η συγκεκριμένη δυνατότητα αναγνωρίστηκε ιδιαίτερα λόγω της αξιοποίησης του διαδραστικού *video-πειράματος*.

Τέλος, υπήρξαν μελλοντικοί εκπαιδευτικοί που ανέφεραν τις δυνατότητες που προσφέρουν τα ψηφιακά εργαλεία για την κοινωνική αλληλεπίδραση των χρηστών τονίζοντας τις δυνατότητες συνεργασίας και ανταλλαγής απόψεων που προσφέρει η αξιοποίηση ψηφιακών κοινόχρηστων αρχείων και πινάκων όπως είναι οι πίνακες *padlet*, *google jamboards* κλπ. καθώς και την δυνατότητα να δώσουν και να πάρουν ανατροφοδότηση από τους υπόλοιπους χρήστες κατά την διάρκεια υλοποίησης μιας δραστηριότητας.

Παρά τις προαναφερθείσες δυνατότητες που αναγνωρίζουν οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί στην αξιοποίηση των ψηφιακών περιβαλλόντων μάθησης που επεξεργάστηκαν, οι ίδιοι αναφέρουν ως περιορισμό το γεγονός ότι οι μαθητές/-τριες δεν εμπλέκονται με πρακτική εργασία (*practical work / hands – on activities*) κατά την υλοποίηση των δραστηριοτήτων ενώ προτείνουν την αναδιαμόρφωση ορισμένων ψηφιακών πόρων σε παραμετροποιήσιμους (*configurable resources*) ώστε να παρέχεται η δυνατότητα στους μαθητές/-τριες να επεξεργάζονται διαφορετικές μεταβλητές και παράγοντες κατά τις διερευνήσεις τους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία περιγράφονται αναλυτικά τα ψηφιακά μαθησιακά περιβάλλοντα που έχουν αναπτυχθεί για τη διδασκαλία της ΚΑ στα πλαίσια του

ευρωπαϊκού προγράμματος “STEM DIGITALIS”. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη αυτών των ψηφιακών περιβαλλόντων μάθησης αναδεικνύει τις δυνατότητες που παρέχουν τα ψηφιακά εργαλεία και μέσα για το σχεδιασμό περιβαλλόντων μάθησης που εμπλέκουν τους εκάστοτε μαθητευόμενους/-ες ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία, παρέχοντας μάλιστα επιπρόσθετες ευκαιρίες για διερεύνηση, αλληλεπίδραση και εξατομίκευση. Παράλληλα, το γεγονός ότι για την ανάπτυξη των συγκεκριμένων STEM ψηφιακών περιβαλλόντων μάθησης αξιοποιήθηκαν συνδυαστικά ποικίλα ψηφιακά εργαλεία και μέσα θεωρούμε ότι συνέβαλε αποτελεσματικά ώστε να περιοριστούν οι περιορισμοί που απορρέουν από την αξιοποίηση του εκάστοτε εργαλείου και μέσου μεμονωμένα.

Παράλληλα, η παρούσα εργασία αναδεικνύει ότι οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης φαίνεται να αναγνωρίζουν τις δυνατότητες των ψηφιακών μέσων για ενίσχυση της εμπλοκής των μαθητών/-τριων σε διερευνητικές διαδικασίες καθώς και για αύξηση της αυθεντικότητας και αλληλεπίδρασης στην τάξη. Οι δυνατότητες αυτές έχουν αναγνωριστεί στη βιβλιογραφία (De Jong et al. 2013; Zacharia et al., 2012; Kluge, 2014; Kim et al., 2019; Webb, 2012; Wörner et al., 2022) ως πλεονεκτήματα αξιοποίησης ψηφιακών εργαλείων και μέσων στη διδασκαλία των ΦΕ ιδιαίτερα λόγω των δυνατοτήτων που αυτά παρέχουν για αναπαράσταση, οπτικοποίηση και επεξεργασία δεδομένων. Το γεγονός λοιπόν ότι οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης μπορούν και αναγνωρίζουν αυτές τις δυνατότητες αποτελεί ένα πρώτο βήμα για την αποτελεσματική αξιοποίησή ψηφιακών μέσων και περιβαλλόντων μάθησης από τους ίδιους/-ες κατά το σχεδιασμό και υλοποίηση των δικών τους STEM διδασκαλιών. Κρίνεται επομένως σημαντικό να δομηθούν κατάλληλα προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης μελλοντικών αλλά και εν ενεργεία εκπαιδευτικών σχετικά με την αξιοποίηση τέτοιων εργαλείων στην εκπαιδευτική πράξη ώστε να μπορούν να ενσωματώνουν αποτελεσματικά αυτά τα εργαλεία και να αξιοποιούν στο μέγιστο τις δυνατότητες που αυτά παρέχουν.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υποστηρίχθηκε από το έργο STEM DIGITALIS το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα Erasmus+ της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Συμφωνία χρηματοδότησης αριθ. 2020-1-EL01-KA226-HE-094691).

Επίσης ευχαριστούμε τα μέλη και τους συνεργάτες της ερευνητικής ομάδας του Εργαστηρίου Διδακτικής Θετικών Επιστημών του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Κρήτης και ιδιαίτερα τους/τις Ζουρμπάκη Αλκίνοο, Μεταξά Ιωάννη, Μπιτσάκη Χαρίκλεια, Μποτζάκη Ελένη, Χαλκιαδιάκη Κωνσταντίνο και Μιχαηλίδη Έμιλυ για την συνεισφορά τους στην ανάπτυξη των ψηφιακών μαθησιακών περιβαλλόντων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Becker S., Klein P., Gößling A., Kuhn J. (2020). Using mobile devices to enhance inquiry-based learning processes. *Learning and Instruction*, 69, 101350. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101350>
- De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Duit, R., & Tesch, M. (2010). On the role of the experiment in science teaching and learning—Visions and the reality of instructional practice. In M. Kalogiannakis, D. Stavrou, P. Michaelides (Eds.). *Proceedings of the 7th international conference on hands-on science (pp.17-30)*. Rethymno: The University of Crete.
- Ferreira, S., & Morais, A. M. (2014). Conceptual demand of practical work in science curricula: A methodological approach. *Research in Science Education*, 44, 53-80. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9377-7>
- Fraillon, J., Ainley, J., Schulz, W., Friedman, T., & Duckworth, D. (2020). *Preparing for life in a digital world: IEA international computer and information literacy study 2018 international report* (p. 297). Springer Nature.
- Hatherly, P. A., Jordan, S. E., & Cayless, A. (2009). Interactive screen experiments—innovative virtual laboratories for distance learners. *European Journal of Physics*, 30(4), 751. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/30/4/008>
- Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I., & Reiss, K. M. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers & Education*, 153, 103897. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103897>
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science education*, 88(1), 28-54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Iliaki, G., Velentzas, A., Michailidi, E., & Stavrou, D. (2019). Exploring the music: a teaching-learning sequence about sound in authentic settings. *Research in Science & Technological Education*, 37(2), 218-238. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1526170>
- Kim, M. C., Hannafin, M. J., & Bryan, L. A. (2007). Technology-enhanced inquiry tools in science education: An emerging pedagogical framework for classroom practice. *Science education*, 91(6), 1010-1030. <https://doi.org/10.1002/sce.20219>
- Kluge, A. (2014). Combining laboratory experiments with digital tools to do scientific inquiry. *International journal of science education*, 36(13), 2157-2179. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.916456>

- Koronen, I. T., & Mäntylä, T. (2006). Generative role of experiments in physics and in teaching physics: A suggestion for epistemological reconstruction. *Science & Education*, 15, 31-54. <https://doi.org/10.1007/s11191-005-3199-6>
- Murillo-Zamorano, L. R., López-Sánchez, J. Á., López-Rey, M. J., & Bueno-Muñoz, C. (2023). Gamification in higher education: The ECON+ star battles. *Computers & Education*, 194, 104699. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104699>
- Nipyraakis, A., & Stavrou, D. (2022). Integration of ICT in Science Education Laboratories by Primary Student Teachers. In S. Papadakis & M. Kalogiannakis (eds), *STEM, Robotics, Mobile Apps in Early Childhood and Primary Education: Technology to Promote Teaching and Learning* (pp. 55-78). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0568-1_4
- Oliveira, A., Feyzi Behnagh, R., Ni, L., Mohsinah, A. A., Burgess, K. J., & Guo, L. (2019). Emerging technologies as pedagogical tools for teaching and learning science: A literature review. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 1(2), 149-160. <https://doi.org/10.1002/hbe2.141>
- Rocha Fernandes, G. W., Rodrigues, A. M., & Ferreira, C. A. R. (2019). *Using ICT inquiry-based science education*. Springer International Publishing.
- Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & education*, 58(1), 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Webb*, M. E. (2012). Affordances of ICT in science learning: implications for an integrated pedagogy. *International journal of science education*, 27(6), 705-735. <https://doi.org/10.1080/09500690500038520>
- Wörner, S., Kuhn, J., & Scheiter, K. (2022). The best of two worlds: A systematic review on combining real and virtual experiments in science education. *Review of Educational Research*, 92(6), 911-952. <https://doi.org/10.3102/0034654322107941>
- Zacharia, Z. C. (2005). The impact of interactive computer simulations on the nature and quality of postgraduate science teachers' explanations in physics. *International Journal of Science Education*, 27(14), 1741-1767. <https://doi.org/10.1080/09500690500239664>
- Zacharia, Z. C., Loizou, E., & Papaevripidou, M. (2012). Is physicality an important aspect of learning through science experimentation among kindergarten students?. *Early Childhood Research Quarterly*, 27(3), 447-457. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2012.02.004>
- Zourmpakis, A. I., Kalogiannakis, M., & Papadakis, S. (2023). A Review of the Literature for Designing and Developing a Framework for Adaptive Gamification in Physics Education. In M. F. Taşar & P. R. L. Heron (Eds.) *The International Handbook of Physics Education Research: Teaching Physics*. AIP Publishing https://doi.org/10.1063/9780735425712_005