

ΜΑΘΗΣΗ ΜΕΣΩ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ: ΣΤΟΧΟΙ, ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΠΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΤΡΕΧΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΑΘΗΣΗ ΜΕΣΩ
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ



2026



Empowering Teachers for Science Learning
Through Modelling-Based Approaches

Έργο Erasmus+ EMPOWER

EMPOWERING TEACHERS FOR SCIENCE LEARNING THROUGH MODELLING-BASED APPROACHES

Ομάδα έργου του πακέτου εργασίας (αλφαβητική σειρά)

Tom Bielik (SRU), Felicitas Haupts (IPN), Wouter van Joolingen (UU), Moritz Krell (IPN), Kim Krijtenburg-Lewerissa (UU), Kim Eleni Lobner (IPN), Victor López-Simó (UAB), Loucas Louca (EUC), Marios Papaevripidou (UCY), Kyriaki Vakkou (UCY)

Περιεχόμενα

.....	1
1 Εισαγωγή	2
2 Μέθοδος	3
3 Αποτελέσματα	4
3.1 Πλαίσια για την ικανότητα μοντελοποίησης	4
3.2 Παιδαγωγική υποστήριξη των μαθητών στη μοντελοποίηση	8
3.3 Γνωστικά πεδία	13
3.4 Εργαλεία	20
4 Συνολικό συμπέρασμα και συζήτηση	24
5 Βιβλιογραφία	27

1 Εισαγωγή

Η παρούσα έκθεση αποσκοπεί στην παρουσίαση της τρέχουσας εικόνας της έρευνας σχετικά με τη μάθηση μέσω μοντελοποίησης (Modelling-based Learning - MbL), ως προς τις προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται, τα θέματα, τα εργαλεία που αξιοποιούνται, τις ηλικίες των μαθητών, καθώς και τα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα. Η μοντελοποίηση χρησιμοποιείται ως μαθησιακή δραστηριότητα ήδη από τη δεκαετία του 1980 (Gilbert & Justi, 2016), όπως καταδεικνύεται από το έργο του Jon Ogborn (Ogborn & Wong, 1984) και άλλων ερευνητών. Έκτοτε, το συγκεκριμένο πεδίο έχει εξελιχθεί σημαντικά, τόσο ως προς τις θεωρητικές προσεγγίσεις σχετικά με τον ρόλο της μοντελοποίησης όσο και ως προς την ανάπτυξη εργαλείων και πρακτικών (π.χ. Constantinou et al., 2019; Louca & Zacharia, 2012). Στην παρούσα έκθεση επιδιώκουμε να συνοψίσουμε την υφιστάμενη κατάσταση της έρευνας σχετικά με τη μάθηση μέσω μοντελοποίησης. Εστιάζουμε σε διάφορες πτυχές: στους αναμενόμενους και παρατηρούμενους μαθησιακούς στόχους της μάθησης μέσω μοντελοποίησης, στις παιδαγωγικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό και την υλοποίησή της, στα εργαλεία μοντελοποίησης που αξιοποιούνται, καθώς και στα γνωστικά πεδία στα οποία έχει εφαρμοστεί. Τα ζητήματα αυτά εξετάστηκαν στο πλαίσιο της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες για ηλικίες 5 έως 15 ετών, οι οποίες αποτελούν την ομάδα-στόχο του έργου Empower.

Προκειμένου να οριοθετήσουμε το αντικείμενο του έργου, αρχικά ορίζουμε τις βασικές έννοιες που σχετίζονται με τη μάθηση μέσω μοντελοποίησης, ξεκινώντας από την πιο θεμελιώδη, την έννοια του μοντέλου. Το ορίζουμε ως εξής:

Το μοντέλο είναι ένα εργαλείο αναπαράστασης που χρησιμοποιείται για την κατανόηση, την πρόβλεψη ή την εξήγηση ενός φαινομένου.

Ο ορισμός αυτός αποτελεί μια αρκετά γενική περιγραφή του τι περιλαμβάνουν τα μοντέλα στο πλαίσιο των επιστημονικών δραστηριοτήτων: αντικείμενα, εικονικά ή απτά, τα οποία οι επιστήμονες κατασκευάζουν για να αναπαραστήσουν τα φαινόμενα ή τα συστήματα που μελετούν. Σε αυτά περιλαμβάνονται μοντέλα κλίμακας, εικόνες, σχηματικές αναπαραστάσεις, προσομοιώσεις στον υπολογιστή και άλλα. Σημαντικό είναι ότι τα μοντέλα επιτελούν μια λειτουργία στην κατανόηση, την πρόβλεψη και την εξήγηση: μέσω του μοντέλου μπορούμε να διατυπώνουμε ισχυρισμούς για το σύστημα που αναπαρίσταται. Με βάση αυτόν τον ορισμό, μπορούμε να προχωρήσουμε στον ορισμό της επιστημονικής μοντελοποίησης:

Η επιστημονική μοντελοποίηση είναι η επαναληπτική διαδικασία κατασκευής, σύγκρισης, ελέγχου, αναθεώρησης και χρήσης μοντέλων κατά τη μελέτη φαινομένων.

Στον παραπάνω ορισμό, η λέξη «επιστημονική» προστίθεται για να τονιστεί ότι η μοντελοποίηση αποτελεί δραστηριότητα που αποσκοπεί στη βαθύτερη κατανόηση των

φαινομένων που μελετώνται, δηλαδή ότι η μοντελοποίηση συνιστά επιστημονική δραστηριότητα. Τέλος, χρειάζεται να ορίσουμε τη μάθηση μέσω μοντελοποίησης ως εξής:

Η μάθηση μέσω μοντελοποίησης είναι μια διδακτική και μαθησιακή προσέγγιση κατά την οποία οι μαθητές εμπλέκονται σε επιστημονική μοντελοποίηση.

Από τους τρεις ορισμούς συνολικά προκύπτει ότι η μάθηση μέσω μοντελοποίησης αποτελεί μια διδακτική και μαθησιακή δραστηριότητα, κατά την οποία οι μαθητές εμπλέκονται σε μια διαδικασία κατασκευής, σύγκρισης, ελέγχου, αναθεώρησης και χρήσης αναπαραστάσεων, με σκοπό την κατανόηση, την πρόβλεψη ή την εξήγηση φαινομένων. Ο στόχος της μάθησης μέσω μοντελοποίησης περιλαμβάνει συνήθως δύο πτυχές: αφενός, τη μάθηση σχετικά με τα υπό μελέτη φαινόμενα και, αφετέρου, την ανάπτυξη της ικανότητας μοντελοποίησης, την οποία μπορούμε να ορίσουμε ως την ικανότητα εμπλοκής στη μοντελοποίηση, καθώς και την πιο σύνθετη κατανόηση σχετικά με τα μοντέλα, η οποία συχνά αναφέρεται ως επιστημολογική γνώση για τη μοντελοποίηση (meta-modelling knowledge). Στη συνέχεια, θα επιχειρήσουμε να διαμορφώσουμε μια στερεή βάση για την έννοια της ικανότητας μοντελοποίησης.

Ως εκ τούτου, η παρούσα ανασκόπηση θα εστιάσει στα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

1. Ποια πλαίσια για την ικανότητα μοντελοποίησης είναι συναφή και πώς διαφοροποιούνται ως προς την ανάπτυξή της στις ηλικίες 5 έως 15 ετών;
2. Ποιες παιδαγωγικές παρεμβάσεις για τη μάθηση μέσω μοντελοποίησης προτείνονται στη βιβλιογραφία για μαθητές ηλικίας 5 έως 15 ετών και τι είναι γνωστό σχετικά με την αποτελεσματικότητά τους;
3. Ποια θέματα, πλαίσια και φαινόμενα χρησιμοποιούνται σε δραστηριότητες μάθησης μέσω μοντελοποίησης;
4. Ποια εξειδικευμένα εργαλεία μοντελοποίησης, εργαλεία γενικής χρήσης ή/και εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης αναφέρεται ότι χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση;

2 Μέθοδος

Καθώς η παρούσα μελέτη αποτελεί ανασκόπηση πεδίου που εστιάζει στις πρόσφατες εξελίξεις, υιοθετήσαμε μια πραγματιστική προσέγγιση. Ξεκινήσαμε συνοψίζοντας επτά πρόσφατες ανασκοπικές μελέτες (Chang et al., 2024; Jin & Jian, 2024; Langbeheim & Bielik, 2025; Lobner et al., υπό εξέταση; Louca & Zacharia, 2012; Margolin et al., 2022; Nicolaou & Constantinou, 2014a), οι οποίες είναι σχετικές με τα ερευνητικά μας ερωτήματα. Οι περιλήψεις αυτές αποτέλεσαν τη βάση αναφοράς για την παρούσα μελέτη. Στη συνέχεια, αναζητήσαμε πρόσφατη βιβλιογραφία για την περίοδο από το 2020 έως το 2025. Το έτος 2020 επιλέχθηκε, καθώς θεωρήθηκε ότι η προηγούμενη περίοδος καλύπτεται από τις ανασκοπικές μελέτες που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση. Για καθένα από τα ερευνητικά ερωτήματα, αρχικά συνοψίσαμε την υφιστάμενη κατάσταση της έρευνας, όπως αυτή προέκυψε από τα ανασκοπικά άρθρα που μελετήθηκαν και συνοψίστηκαν, και στη συνέχεια

παρουσιάσαμε τα αποτελέσματα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία που εντοπίστηκε. Χρησιμοποιήσαμε την ακόλουθη συμβολοσειρά αναζήτησης:

```
TS=(model-ba*)  
AND (TS=(learning) OR TS=(education))  
AND (TS=(Science) OR TS=(Biology) OR TS=(Physics) OR TS=(Chemistry) OR TS=(Geo*))  
NOT (TS=(higher education))  
NOT (TS=(machine learning) OR (TS=(deep learning) OR TS=(robot*)))
```

Η συγκεκριμένη αναζήτηση απέδωσε 132 αποτελέσματα στο Web of Science. Περιορίσαμε το σύνολο αυτό χρησιμοποιώντας τη λειτουργία επιλογής που παρέχεται από το Web of Science, ώστε να συμπεριληφθούν μόνο άρθρα που αφορούσαν εκπαιδευτικά θέματα και να αποκλειστούν μελέτες που αναφέρονταν σε μοντέλα στο πλαίσιο της τεχνητής νοημοσύνης. Τέλος, εξετάσαμε τις περιλήψεις, ώστε να επιλέξουμε μόνο τα άρθρα που αφορούσαν την πρωτοβάθμια και την κατώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, καθώς και την εκπαίδευση εκπαιδευτικών. Καταλήξαμε σε 49 άρθρα στην αγγλική γλώσσα. Η διαδικασία αναζήτησης και επακόλουθης επιλογής επαναλήφθηκε σε γερμανόγλωσσες βάσεις δεδομένων, από τις οποίες προέκυψαν 2 άρθρα στα γερμανικά, καθώς και σε ισπανόγλωσσες βάσεις δεδομένων (Enseñanza de las Ciencias και Eureka), από τις οποίες προέκυψαν 16 άρθρα. Κάθε άρθρο αξιολογήθηκε ως προς τη συνάφειά του με καθένα από τα ερευνητικά ερωτήματα. Δεν είναι όλα τα άρθρα συναφή με όλα τα ερευνητικά ερωτήματα.

3 Αποτελέσματα

3.1 Πλαίσια για την ικανότητα μοντελοποίησης

Από τις ανασκοπήσεις που μελετήσαμε ως βάση, προέκυψε ότι τα επιστημονικά μοντέλα, τα οποία στο εξής αναφέρονται ως «μοντέλα», ορίζονται ως σκόπιμες αφηρημένες αναπαραστάσεις φαινομένων, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως μέσα αναπαράστασης και επικοινωνίας επιστημονικών ιδεών, καθώς και ως επιστημικά εργαλεία για τη διερεύνηση και την κατανόηση επιστημονικών φαινομένων (Gouvea & Passmore, 2017; Lobner et al., υπό εξέταση). Η επιστημονική μοντελοποίηση, η οποία στο εξής αναφέρεται ως «μοντελοποίηση», είναι η επαναληπτική διαδικασία κατασκευής και χρήσης επιστημονικών μοντέλων. Η μάθηση μέσω μοντελοποίησης αναφέρεται στις διδακτικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για τη μάθηση με τα επιστημονικά μοντέλα και σχετικά με αυτά. Πρόκειται για μια πολυφασική διαδικασία, κατά την οποία οι μαθητές εμπλέκονται στην κατασκευή και χρήση μοντέλων (Louca & Zacharia, 2012; Margolin et al., 2022). Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την εμπλοκή σε πρακτικές όπως η ανάπτυξη, η αξιολόγηση, η αναθεώρηση, η σύγκριση και η χρήση μοντέλων για την εξήγηση και την πρόβλεψη φαινομένων (Schwarz et al., 2009). Οι Gouvea και Passmore (2017) τόνισαν τη σημασία του

ενεργού γνωστικού υποκειμένου κατά την ανάπτυξη και τη χρήση μοντέλων, μετατοπίζοντας την έμφαση από το μοντέλο ως αναπαράσταση κάποιου αντικειμένου ή φαινομένου (“model of”) στο μοντέλο ως εργαλείο για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου σκοπού (“model for”). Η προσέγγιση αυτή αποτυπώνεται στα επίπεδα της επιστημολογικής γνώσης για τη μοντελοποίηση (Urmeier Zu Belzen et al., 2019), όπου το επίπεδο I αναφέρεται στα μοντέλα ως αναπαραγωγές ενός φαινομένου της πραγματικότητας, ενώ το επίπεδο III αναφέρεται στα μοντέλα ως επιστημικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την εξήγηση και την πρόβλεψη φαινομένων.

Η εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες αποσκοπεί στην υποστήριξη της ανάπτυξης της ικανότητας μοντελοποίησης των μαθητών. Οι ορισμοί της ικανότητας μοντελοποίησης ποικίλλουν, ενώ στη βιβλιογραφία της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες υπάρχουν διαφορετικά πλαίσια για την ικανότητα μοντελοποίησης. Με ευρεία έννοια, η ικανότητα μοντελοποίησης μπορεί να θεωρηθεί ως «ένα σύστημα γνώσεων, δεξιοτήτων και ικανοτήτων που είναι απαραίτητες για την εμπλοκή στη διαδικασία ανάπτυξης και χρήσης μοντέλων για επιστημονικό συλλογισμό, συμπεριλαμβανομένων των διαθέσεων και των κινήτρων για την εφαρμογή αυτών των ικανοτήτων στην επίλυση προβλημάτων σε συγκεκριμένες καταστάσεις» (Göhner et al., 2022, σ. 4). Οι περισσότεροι ορισμοί και τα περισσότερα πλαίσια της ικανότητας μοντελοποίησης εστιάζουν σε τρεις βασικές διαστάσεις: την επιστημολογική γνώση για τη μοντελοποίηση, τις πρακτικές μοντελοποίησης και το προϊόν μοντελοποίησης.

Η επιστημολογική γνώση για τη μοντελοποίηση αναφέρεται σε επιστημολογικές ιδέες και κατανοήσεις σχετικά με τα μοντέλα και τη διαδικασία μοντελοποίησης, δηλαδή στη δηλωτική γνώση για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση (Chan et al., 2025). Οι Nicolaou και Constantinou (2014a) υποστηρίζουν ότι αυτή περιλαμβάνει γνώση σχετικά με τη φύση των μοντέλων και γνώση σχετικά με τη διαδικασία μοντελοποίησης. Οι Urmeier zu Belzen et al. (2019) περιγράφουν πέντε πτυχές της επιστημολογικής γνώσης για τη μοντελοποίηση: τη φύση των μοντέλων, τα πολλαπλά μοντέλα, τον σκοπό των μοντέλων, τον έλεγχο των μοντέλων και την αλλαγή των μοντέλων. Περιλαμβάνουν επίσης μη γνωστικές πτυχές, όπως τα κίνητρα και τη βούληση. Οι Chiu και Lin (2019) προτείνουν ότι η γνώση μοντελοποίησης περιλαμβάνει οντολογικές, επιστημολογικές και μεθοδολογικές πτυχές, παράλληλα με τη μεταγνωστική γνώση για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση. Οι πρακτικές μοντελοποίησης αναφέρονται στις παρατηρήσιμες δραστηριότητες μοντελοποίησης στις οποίες εμπλέκονται οι μαθητές. Οι Nicolaou και Constantinou (2014a) προτείνουν ότι οι πρακτικές μοντελοποίησης περιλαμβάνουν πρακτικές όπως η δημιουργία, η χρήση, η σύγκριση, η αναθεώρηση και η επικύρωση μοντέλων. Το προϊόν μοντελοποίησης αναφέρεται στην ποιότητα και την ακρίβεια των τελικών τεχνουργημάτων μοντελοποίησης που παράγονται (Chan et al., 2025; Chiu & Lin, 2019; Göhner et al., 2022).

Στην ανασκόπησή τους, η οποία αποσκοπούσε στη διαμόρφωση ενός ευρύτερου ορισμού της ικανότητας μοντελοποίησης, οι Lobner και συνεργάτες (υπό εξέταση) προτείνουν ένα πλαίσιο για την ικανότητα μοντελοποίησης, το οποίο αποτελείται από τέσσερις διαστάσεις: (1) διαθέσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν μεταγνώση για τη μοντελοποίηση, τη γνώση

συγκεκριμένου γνωστικού αντικείμενου και μη γνωστικές διαθέσεις, (2) δεξιότητες που σχετίζονται με συγκεκριμένες καταστάσεις, (3) πρακτικές μοντελοποίησης σε επίπεδο επίδοσης και (4) προϊόν μοντελοποίησης.

Παρόλο που όλες οι διαστάσεις της επιστημολογικής γνώσης για τη μοντελοποίηση αναμένεται να συσχετίζονται θετικά μεταξύ τους (Chiu & Lin, 2019; Schwarz et al., 2009), οι λίγες εμπειρικές μελέτες που επιχείρησαν να διερευνήσουν αυτές τις πιθανές συσχετίσεις βρήκαν περιορισμένες ενδείξεις υπέρ αυτού του ισχυρισμού. Εστιάζοντας στους μαθητές, οι Schwarz και White (2005) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το υψηλότερο επίπεδο επιστημολογικής γνώσης για τη μοντελοποίηση μπορεί να συμβάλει στην εμπλοκή των μαθητών στη διαδικασία μοντελοποίησης, κυρίως όταν αυτή υποστηρίζεται από ρητές αναστοχαστικές συζητήσεις. Οι Sins et al. (2009) εντόπισαν θετική συσχέτιση μεταξύ των ικανοτήτων βαθιάς επεξεργασίας της μοντελοποίησης από τους μαθητές και του υψηλού επιπέδου επιστημολογικής κατανόησης της μοντελοποίησης. Εστιάζοντας σε υποψήφιους καθηγητές βιολογίας, οι Göhner et al. (2022) διαπίστωσαν μόνο ασθενή συσχέτιση μεταξύ της πολυπλοκότητας της διαδικασίας μοντελοποίησης από τους εκπαιδευτικούς και της ποιότητας των προϊόντων μοντελοποίησης που παρήγαγαν, χωρίς να εντοπιστεί συσχέτιση με καμία από τις άλλες διαστάσεις της μοντελοποίησης. Οι Engelschalt et al. (2024) διαπίστωσαν μέτρια συσχέτιση μεταξύ της γνώσης των εκπαιδευτικών σχετικά με την επαναληπτική φύση της διαδικασίας μοντελοποίησης και της επιστημολογικής γνώσης για τη μοντελοποίηση, ειδικότερα της κατανόησης των μοντέλων ως εργαλείων πρόβλεψης φαινομένων. Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω εμπειρικό έλεγχο των σχέσεων μεταξύ των διαστάσεων της ικανότητας μοντελοποίησης, τόσο με εκπαιδευτικούς όσο και με μαθητές.

Από την τρέχουσα βιβλιογραφία σχετικά με τη μάθηση μέσω μοντελοποίησης προκύπτουν επίσης αρκετοί πρόσθετοι περιορισμοί. Όπως προτείνουν οι Lobner et al. (υπό εξέταση), η ικανότητα μοντελοποίησης παρουσιάζει ιδιαιτερότητες ανά γνωστικό αντικείμενο, οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, ενώ θα πρέπει επίσης να εξετάζονται και πεδία πέραν των Φυσικών Επιστημών. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι άλλα πλαίσια μοντελοποίησης εστιάζουν σε εναλλακτικούς όρους, όπως δεξιότητες, ικανότητες και πρακτικές, οι οποίοι επικαλύπτονται με τις περισσότερες διαστάσεις της ικανότητας μοντελοποίησης, αλλά ενδέχεται να περιλαμβάνουν και πρόσθετες πτυχές. Επιπλέον, οι εμπειρικές μελέτες σχετικά με την ικανότητα μοντελοποίησης στην προσχολική και την πρωτοβάθμια εκπαίδευση υποεκπροσωπούνται στη βιβλιογραφία.

Από τα 49 αγγλόφωνα άρθρα που εντοπίστηκαν για την τελευταία πενταετία, τα 23 θεωρήθηκαν συναφή με το θέμα των πλαισίων μοντελοποίησης. Από αυτά τα άρθρα, αναδείχθηκαν διάφορα θέματα σχετικά με τα βασικά θεωρητικά πλαίσια και τους ορισμούς που χρησιμοποιήθηκαν σε ερευνητικές μελέτες δημοσιευμένες κατά την τελευταία πενταετία.

Το πιο διαδεδομένο πλαίσιο στη βιβλιογραφία που εντοπίστηκε, το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε 11 από τα 23 άρθρα (π.χ. Lacy et al., 2022; Peretz et al., 2023), είναι το πλαίσιο των πρακτικών μοντελοποίησης, το οποίο προέρχεται από το Framework for K-12 Science

Education (NGSS, 2012). Το πλαίσιο των πρακτικών μοντελοποίησης αντιλαμβάνεται τη μοντελοποίηση ως μία από τις βασικές πρακτικές των Φυσικών Επιστημών και της Μηχανικής που θα πρέπει να αναπτύσσουν οι μαθητές, αναφερόμενο τόσο στη γνώση όσο και στις ικανότητες κατασκευής και χρήσης μοντέλων για την κατανόηση των φαινομένων. Παρόμοιο μοτίβο αναδεικνύεται και στα ισπανόγλωσσα άρθρα: από τα 16 άρθρα που αναλύθηκαν, τα 7 αξιοποιούν ρητά τις πρακτικές μοντελοποίησης ως το κύριο θεωρητικό ή διδακτικό τους πλαίσιο (π.χ. Jiménez-Liso et al., 2021; Oliva et al., 2021), παρουσιάζοντας αναλογία συγκρίσιμη με εκείνη του αγγλόφωνου σώματος κειμένων. Η σύγκλιση αυτή υποδηλώνει ότι οι πρακτικές μοντελοποίησης έχουν επίσης καταστεί κεντρικό σημείο αναφοράς στην ισπανόγλωσσα έρευνα για την εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες, τόσο για τη δόμηση των διδακτικών ακολουθιών όσο και για την ανάλυση της εμπλοκής των μαθητών με βασικές διαδικασίες μοντελοποίησης.

Το δεύτερο πιο συχνά χρησιμοποιούμενο πλαίσιο ήταν το πλαίσιο της διερεύνησης βασισμένης σε μοντέλα, το οποίο εμφανίζεται σε 7 από τα 23 άρθρα που εντοπίστηκαν (π.χ. Campbell et al., 2025; Pedrera et al., 2025). Το πλαίσιο αυτό, το οποίο προτάθηκε αρχικά από τους Windschitl et al. (2008), αντιλαμβάνεται τη μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες ως ένα σύστημα διερευνητικών δραστηριοτήτων και λόγου, το οποίο εμπλέκει τους μαθητές στην εις βάθος μάθηση του γνωστικού περιεχομένου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από μια κυκλική διαδικασία κατασκευής, ελέγχου, αναθεώρησης και χρήσης μοντέλων, με σκοπό την ανάπτυξη εξηγήσεων που τεκμηριώνονται με βάση αποδεικτικά στοιχεία για φαινόμενα του πραγματικού κόσμου. Με βάση αυτό το πλαίσιο, οι ιδέες των μαθητών αναπαρίστανται με τη μορφή μοντέλων τα οποία είναι ελέγξιμα, αναθεωρήσιμα και επεξηγηματικά, επιτρέπουν τη διατύπωση εικασιών και μπορούν να παράγουν νέες εξηγήσεις ή προβλέψεις. Στο υποσύνολο των ισπανόγλωσσων άρθρων, εντοπίζουμε επίσης 3 από τις 16 μελέτες που υιοθετούν ρητά τη διερεύνηση βασισμένη σε μοντέλα, όπως η μελέτη των Guimarães & Peticarrari (2025).

Η ικανότητα μοντελοποίησης εμφανίστηκε σε πέντε από τα 23 άρθρα. Ωστόσο, μόνο δύο από αυτά τα άρθρα (π.χ. Garrido και Couso, 2024) αναφέρθηκαν στο πλαίσιο της ικανότητας μοντελοποίησης που συνδέεται με τους Urmeier zu Belzen et al. (2019). Το συγκεκριμένο πλαίσιο περιλαμβάνει διαστάσεις που σχετίζονται με την επιστημολογική γνώση των μαθητών για τη μοντελοποίηση, δηλαδή με τις γνώσεις τους σχετικά με τη φύση και τον σκοπό των επιστημονικών μοντέλων και της μοντελοποίησης, καθώς και με την ικανότητά τους να εμπλέκονται σε πρακτικές μοντελοποίησης και να παράγουν ένα κατάλληλο προϊόν μοντελοποίησης. Τα υπόλοιπα τρία άρθρα αναφέρθηκαν στην ικανότητα μοντελοποίησης με ευρύτερο και ασαφή τρόπο. Στην ανασκόπηση της ισπανόφωνης βιβλιογραφίας, καμία μελέτη δεν υιοθέτησε ρητά το πλαίσιο της ικανότητας μοντελοποίησης. Παρόλο που ορισμένες μελέτες αναφέρονται σε ικανότητες μοντελοποίησης ή στη χρήση μοντέλων, καμία δεν οργανώνει την ανάλυσή της με βάση την επιστημολογική γνώση για τη μοντελοποίηση, τις πρακτικές μοντελοποίησης ή τα προϊόντα μοντελοποίησης, με την έννοια που αποδίδεται στους όρους αυτούς στο συγκεκριμένο πλαίσιο. Η απουσία αυτή υποδηλώνει ότι, στο ισπανόγλωσσο ερευνητικό πλαίσιο, δεν υπάρχει ακόμη ισχυρή

παράδοση εννοιολόγησης των «ικανοτήτων μοντελοποίησης» ως διακριτής θεωρητικής έννοιας, σε αντίθεση με την πιο καθιερωμένη χρήση που εντοπίζεται στη διεθνή, κυρίως αγγλόφωνη και γερμανόφωνη, βιβλιογραφία.

Η μάθηση μέσω μοντελοποίησης εμφανίστηκε σε 4 από τα 23 αγγλόφωνα άρθρα (π.χ. Erumit & Yuksel, 2023), περιλαμβάνοντας επίσης τη μάθηση μέσω μοντελοποίησης κοινωνικοεπιστημονικών ζητημάτων (socio-scientific modelling-based learning – SIMBL, π.χ. Durak & Torcu, 2025), καθώς και σε 4 από τα 16 ισπανόγλωσσα άρθρα (π.χ. Domènech-Casal, 2020). Οι εξηγήσεις μέσω μοντελοποίησης εμφανίστηκαν σε 3 από τα 23 άρθρα (π.χ. Lindgren et al., 2021), ενώ ο συλλογισμός βασισμένος σε μοντέλα αναφέρθηκε σε 2 άρθρα (π.χ. Lacy et al., 2022).

Άλλα πλαίσια που εξετάστηκαν μόνο μία φορά στη βιβλιογραφία που εντοπίστηκε περιλάμβαναν πλαίσια σχετικά με τα νοητικά μοντέλα, την επιστημολογία των μοντέλων, την εννοιολογική μοντελοποίηση, τις δεξιότητες μοντελοποίησης, τη διδασκαλία μέσω μοντελοποίησης και την επίδοση στη μοντελοποίηση.

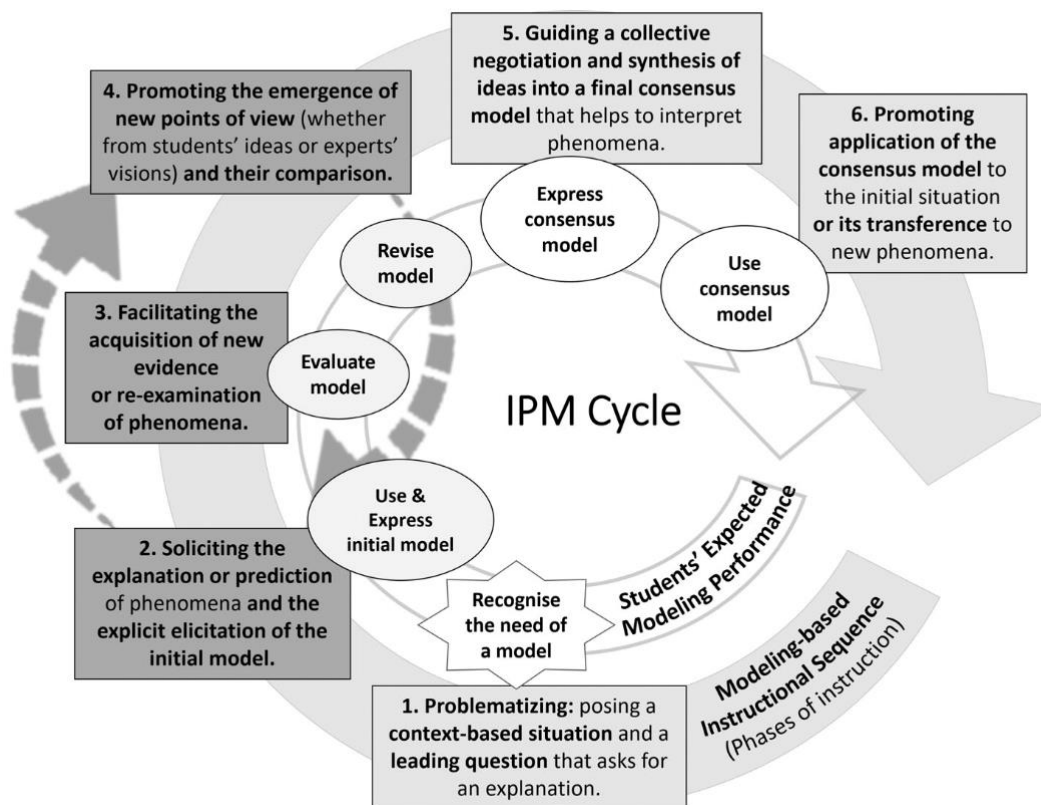
Στη βιβλιογραφία που εντοπίστηκε, τα μοντέλα ορίζονταν συνήθως ως αναπαραστάσεις φαινομένων του πραγματικού κόσμου και φυσικών συστημάτων, οι οποίες περιλαμβάνουν συναφή στοιχεία του υπό διερεύνηση φαινομένου, τα χαρακτηριστικά τους και τις αλληλεπιδράσεις τους. Στο μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας που εντοπίστηκε, τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για την περιγραφή και την εξήγηση των μηχανισμών και των αιτιωδών σχέσεων ενός συστήματος, καθώς και για τη διατύπωση προβλέψεων. Τα νοητικά μοντέλα ορίζονται ως μοντέλα που κατασκευάζονται στο νου των ατόμων ως αποτέλεσμα γνωστικών διεργασιών. Η μοντελοποίηση νοείται γενικά, στη βιβλιογραφία που εντοπίστηκε, ως η επαναληπτική διαδικασία ανάπτυξης, αξιολόγησης, σύγκρισης, αναθεώρησης και χρήσης μοντέλων για την εξήγηση και την πρόβλεψη φαινομένων. Στο εκπαιδευτικό πλαίσιο, η μοντελοποίηση θεωρείται ως παιδαγωγικό εργαλείο απαραίτητο για τη διαδικασία ανάπτυξης της επιστημονικής γνώσης.

3.2 Παιδαγωγική υποστήριξη των μαθητών στη μοντελοποίηση

Στις μελέτες ανασκόπησης που χρησιμοποιήσαμε ως βάση, οι παιδαγωγικές προσεγγίσεις στη μοντελοποίηση συχνά βασίζονται στην εμπλοκή των μαθητών στις ίδιες τις διαδικασίες μοντελοποίησης, δηλαδή στην κατασκευή, διερεύνηση και αναθεώρηση μοντέλων. Πολλοί συγγραφείς έχουν εξετάσει τον τρόπο με τον οποίο τέτοιες πρακτικές μοντελοποίησης μπορούν να εισαχθούν στην εκπαίδευση. Για παράδειγμα, οι Windschitl και συνεργάτες (2008) συνδέουν την πρακτική της μοντελοποίησης με τον επιστημονικό συλλογισμό και τις σχετικές «συζητήσεις», οι οποίες συνοψίζονται ως εξής: «Τι γνωρίζουμε ήδη», «Διατύπωση υποθέσεων», «Αναζήτηση αποδεικτικών στοιχείων» και «Δόμηση επιχειρήματος». Οι Bielik et al. (2022) ορίζουν διάφορες πτυχές που εστιάζουν περισσότερο στην ίδια την κατασκευή του μοντέλου: τον καθορισμό των ορίων, τον προσδιορισμό των συστατικών και των ορίων, τη χρήση αποδεικτικών στοιχείων και συλλογισμού, καθώς και την ερμηνεία της

συμπεριφοράς του μοντέλου. Στην προσπάθειά τους να υποστηρίξουν τους εκπαιδευτικούς, οι Campbell et al. (2025) βασίζουν το εργαλείο διδακτικού σχεδιασμού σε μια παρόμοια περιγραφή της διαδικασίας μοντελοποίησης. Μια προσπάθεια ενσωμάτωσης αυτών, καθώς και πολλών άλλων προσεγγίσεων, αποτελεί ο κύκλος «Instruction Performance Modelling (IPM)» (Garrido & Couso, 2025). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του κύκλου είναι ότι διαχωρίζει την επίδοση των μαθητών στη μοντελοποίηση από τις αντίστοιχες διδακτικές φάσεις (βλ. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Σχήμα 1 Ο κύκλος IPM όπως απεικονίζεται από τους Garrido και Couso (Garrido & Couso, 2025)



Εξετάζοντας τον κύκλο, πράγματι διαπιστώνουμε αυτόν τον διαχωρισμό, παρόλο που οι διδακτικές φάσεις αντιστοιχούν σε μεγάλο βαθμό στις φάσεις της μοντελοποίησης. Στον κύκλο μπορούμε να διακρίνουμε τρεις κύριες φάσεις, τις οποίες θα μπορούσαμε να ονομάσουμε Προσανατολισμό, Μοντελοποίηση και Εφαρμογή. Στον κύκλο IPM αυτές απεικονίζονται ως οι φάσεις 1, 2-4 και 5-6, αντίστοιχα. Παρ' όλα αυτά, οι διδακτικές αυτές φάσεις περιγράφουν τη διαδικασία μοντελοποίησης σε αφηρημένο επίπεδο, χωρίς όμως να παρέχουν πληροφορίες για τη διδακτική ή παιδαγωγική παρέμβαση που απαιτείται για την υποστήριξη αυτών των φάσεων της διαδικασίας μοντελοποίησης.

Ένα ακόμη ζήτημα είναι ότι το να εμπλέκονται οι μαθητές σε μια διαδικασία μοντελοποίησης δεν σημαίνει αυτομάτως ότι θα αποκτήσουν επιστημολογική γνώση για τη μοντελοποίηση, είτε σχετικά με την ίδια τη διαδικασία είτε σχετικά με τον ρόλο των μοντέλων στην επιστήμη. Κατά συνέπεια, πέρα από την υποστήριξη της διαδικασίας μοντελοποίησης, χρειάζεται

επίσης να υποστηριχθεί ο πιο αφηρημένος συλλογισμός σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση. Αυτό σημαίνει ότι, όταν οι μαθητές εμπλέκονται στη μάθηση του πώς να μοντελοποιούν ή στη μάθηση σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση, έρχονται αντιμέτωποι με πολλά διαφορετικά ερωτήματα και ζητήματα πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη διαδικασία μοντελοποίησης. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται μια καταγραφή τέτοιων ερωτημάτων.

Πίνακας 1 Ερωτήματα που συνδέονται με τη διαδικασία μοντελοποίησης, την ικανότητα μοντελοποίησης και την ικανότητα επιστημολογικού αναστοχασμού για τη μοντελοποίηση

Φάση μοντελοποίησης	Ερωτήματα για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση	Ερωτήματα επιστημολογικού αναστοχασμού για τη μοντελοποίηση
Διερεύνηση του προβλήματος	Ποιο είναι το πρόβλημα; Τι γνωρίζουμε ήδη;	Είναι κατάλληλο για μοντελοποίηση; Ποιες παραδοχές χρειάζεται να γίνουν; Πότε θεωρούμε ότι το μοντέλο είναι ικανοποιητικό; Ποιος είναι ο σκοπός του μοντέλου;
Δημιουργία του μοντέλου	Ποια είναι τα σχετικά στοιχεία, οι μεταβλητές και οι παράμετροι; Πώς σχετίζονται μεταξύ τους;	Ποιες πτυχές πρέπει να μοντελοποιηθούν και ποιες όχι; Με ποιον τρόπο το μοντέλο αυτό αποτελεί αναπαράσταση της πραγματικότητας;
Έλεγχος του μοντέλου	Πώς συγκρίνουμε το μοντέλο με την πραγματικότητα;	Τι συνιστά ένα καλό μοντέλο στη συγκεκριμένη περίπτωση; Ποια κριτήρια έχουμε για το μοντέλο μας;
Αναθεώρηση του μοντέλου	Ποιες αλλαγές χρειάζονται στο μοντέλο; Πώς εφαρμόζονται οι αλλαγές;	Ποιες πτυχές του μοντέλου χρειάζονται αναθεώρηση και γιατί;
Χρήση του μοντέλου	Τι προβλέπει το μοντέλο για νέες καταστάσεις; Πώς πρέπει να οριστούν οι μεταβλητές/παράμετροι, ώστε να προκύψουν χρήσιμα αποτελέσματα από το μοντέλο;	Ποιοι είναι οι περιορισμοί του μοντέλου; Μπορώ να εμπιστευτώ τις προβλέψεις του, με βάση τις παραδοχές της μοντελοποίησης;
Αναστοχασμός για το μοντέλο	Εξυπηρετεί το μοντέλο τον σκοπό μας;	Υπάρχει συναίνεση σχετικά με το μοντέλο; Υπάρχουν άλλα πιθανά μοντέλα; Ποια θα ήταν τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματά τους; Είναι αρκετό ένα μόνο μοντέλο;

Αναστοχασμός για τη
διαδικασία μοντελοποίησης

Ακολουθήσαμε τα απαραίτητα
βήματα για τη δημιουργία και
την αξιολόγηση ενός
ικανοποιητικού μοντέλου;

Ποιοι είναι οι λόγοι για να
εμπιστευτούμε μια διαδικασία
μοντελοποίησης;

Τα παραπάνω «ερωτήματα» παρέχουν ένα πλαίσιο για την περιγραφή του μέρους της διαδικασίας μοντελοποίησης προς το οποίο μπορεί να κατευθυνθεί η παιδαγωγική υποστήριξη. Οι παρεμβάσεις που προκύπτουν μπορούν να ενσωματώνονται στο ίδιο το μαθησιακό περιβάλλον ή να καθοδηγούνται από τον εκπαιδευτικό. Τέτοιες προσεγγίσεις υποστήριξης ευθυγραμμίζονται με παλαιότερες μελέτες σχετικά με την υποστήριξη στη διερευνητική μάθηση, όπως, για παράδειγμα, οι κατηγοριοποιήσεις της υποστήριξης από τους Quintana και Lazonder (Lazonder & Harmsen, 2016· Quintana et al., 2004). Κύρια σημεία που αναδείχθηκαν στη βιβλιογραφία που εξετάζεται εδώ είναι η διπλοεστιακή μοντελοποίηση (bifocal modelling) (Blikstein, 2014), δηλαδή η άμεση σύνδεση των μοντέλων με το πείραμα, οι μαθησιακές ακολουθίες που περιλαμβάνουν σχεδίαση, ποιοτική και ποσοτική μοντελοποίηση, η σημασία της υψηλής ποιότητας αναπαράστασης και οπτικοποίησης, καθώς και η χρήση φυσικών διεπαφών για την κατασκευή και διερεύνηση μοντέλων, όπως η απτική ανατροφοδότηση και τα φυσικά αντικείμενα με ετικέτες RFID για την κατασκευή μοντέλων. Τέλος, συλλέξαμε πληροφορίες, όπου αυτές υπήρχαν, σχετικά με την αποτελεσματικότητα της παιδαγωγικής παρέμβασης.

Στα άρθρα που εξετάστηκαν από το 2020 και έπειτα, εντοπίσαμε μόνο υποστήριξη για τη διαδικασία μοντελοποίησης, δηλαδή για τη δημιουργία μοντέλων. Δεν εντοπίσαμε ρητές διδακτικές παρεμβάσεις για την υποστήριξη του συλλογισμού σχετικά με την επιστημολογική γνώση για τη μοντελοποίηση, ούτε στην αγγλόφωνη ούτε στην ισπανόγλωσση βιβλιογραφία. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι μελέτες δεν συμβάλλουν στην ανάπτυξη της επιστημολογικής γνώσης για τη μοντελοποίηση· μπορεί να υποστηριχθεί ότι η συμμετοχή σε μια δραστηριότητα μοντελοποίησης είναι ουσιώδης για την ανάπτυξη της επιστημολογικής γνώσης για τη μοντελοποίηση, ωστόσο δεν εντοπίστηκαν ρητές σχετικές παρεμβάσεις ή μορφές υποστήριξης.

Οι μορφές υποστήριξης που αφορούν τη δημιουργία μοντέλων εστιάζουν σε διάφορες πτυχές της διαδικασίας μοντελοποίησης. Η διερεύνηση του προβλήματος έχει υποστηριχθεί μέσω της δημιουργίας σχεδίων από τους μαθητές (Lindgren et al., 2021; Liu, 2021; Samarungavan et al., 2023), καθώς και άλλων οπτικοποιήσεων που δημιουργούνται από τους μαθητές, όπως κινούμενες απεικονίσεις (animations) (Lin & Wu, 2021). Για τη δημιουργία του μοντέλου, οι Arik και Torcu (2022) παρέχουν ρητές εξηγήσεις σχετικά με τον φορμαλισμό της μοντελοποίησης.

Για τον έλεγχο του μοντέλου, έχουν χρησιμοποιηθεί προτροπές με τη μορφή υποστηρικτικών ερωτήσεων για την ερμηνεία δεδομένων από τους Bhattacharya et al. (2021). Επίσης, η υποστήριξη της πρόβλεψης και της παρατήρησης μέσω πραγματικών και προσομοιωμένων πειραμάτων έχει εφαρμοστεί ως υποστηρικτική στρατηγική (Bozzo et al., 2022). Αυτό συνδέεται με την ιδέα της διπλοεστιακής μοντελοποίησης (bifocal modelling), όπως εισήχθη από τον Blikstein (2014). Η αναθεώρηση του μοντέλου υποστηρίχθηκε ρητά σε δύο μελέτες.

Ο Bielik και οι συνεργάτες του χρησιμοποίησαν βίντεο και πειράματα ως εναύσματα για την επέκταση του μοντέλου πέρα από την τρέχουσα κατάστασή του (Bielik et al., 2022), ενώ ο Lucas και συνεργάτες διαπίστωσαν ότι οι μαθητές που αναθεώρησαν τα μοντέλα τους μετά από σχετική προτροπή σημείωσαν υψηλότερη επίδοση στην τελική δοκιμασία αξιολόγησης (post-test) (Lucas et al., 2022). Συνολικά, το ισπανόγλωσσο σώμα κειμένων παρουσιάζει σαφή ανισορροπία: όλες οι μελέτες δίνουν έμφαση στη διερεύνηση του προβλήματος και στη δημιουργία του μοντέλου, ενώ πολύ λιγότερες περιλαμβάνουν συστηματικές φάσεις ελέγχου και αναθεώρησης των μοντέλων.

Τέλος, αρκετές μελέτες δεν παρείχαν υποστήριξη σε συγκεκριμένες φάσεις της διαδικασίας μοντελοποίησης, αλλά προσέφεραν υποστήριξη για τη διαδικασία συνολικά. Δύο μελέτες βασίζονται στον κύκλο IPM (βλ. Σχήμα 1) και διαπίστωσαν ότι η υποστήριξη των μαθητών στην ακολούθηση αυτού του κύκλου συμβάλλει στην αύξηση του ενδιαφέροντος, της συγκέντρωσης και της ικανοποίησής τους (Jimenez-Liso et al., 2022; Pedrera et al., 2025). Μια άλλη προσέγγιση είναι η οργάνωση της διαδικασίας μοντελοποίησης με βάση αφηγηματικές γραμμές και την αφήγηση ιστοριών. Οι Lindgren και συνεργάτες ζήτησαν από τους μαθητές να αναπτύξουν μια αφηγηματική γραμμή με αφετηρία ένα αρχικό ερώτημα, «γιατί μια μικρή λίμνη είναι πράσινη το καλοκαίρι;», και να προχωρήσουν από αυτό το ερώτημα σε μια εξήγηση του φαινομένου βασισμένη στη μοντελοποίηση (Lindgren et al., 2021).

Συνοψίζοντας, διαπιστώνουμε ότι οι μελέτες επιχειρούν είτε να υποστηρίξουν τη διαδικασία μοντελοποίησης συνολικά είτε να εστιάσουν σε συγκεκριμένα μέρη της. Δεν υπάρχουν πολλά εμπειρικά τεκμήρια σχετικά με τις επιδράσεις των επιμέρους μορφών υποστήριξης, ωστόσο αρκετές μελέτες αναφέρουν συνολικά θετικά αποτελέσματα από την εμπλοκή των μαθητών στη μοντελοποίηση. Τα κύρια σημεία που μπορούμε να αντλήσουμε από τις διάφορες προσεγγίσεις είναι τα εξής:

- **Η χρήση οπτικών ή/και φυσικών αναπαραστάσεων, όπως σχέδια, αντικείμενα που μπορούν να χειριστούν οι χρήστες ή κινούμενες απεικονίσεις που δημιουργούνται από τους ίδιους τους μαθητές, έχει αξιοποιηθεί επανειλημμένα, ιδιαίτερα στις διερευνητικές φάσεις της διαδικασίας μοντελοποίησης.**
- **Στην υπολογιστική μοντελοποίηση, η εκμάθηση και η χρήση του φορμαλισμού της μοντελοποίησης είναι κρίσιμη. Απαιτείται ειδική υποστήριξη ως προς αυτή την πτυχή. Μια πιθανή μορφή υποστήριξης μπορεί να εντοπιστεί στις τεχνικές ποιοτικής μοντελοποίησης, οι οποίες επιτρέπουν τη δημιουργία μοντέλων χωρίς τη συγγραφή κώδικα ή εξισώσεων.**
- **Εκείνο που φαίνεται να απουσιάζει είναι η ρητή υποστήριξη της επιστημολογικής γνώσης για τη μοντελοποίηση, δηλαδή του αναστοχασμού σχετικά με τη φύση των μοντέλων και τον ρόλο τους στην επιστήμη και πέρα από αυτήν.**

Κατά την ερμηνεία όλων των παραπάνω, χρειάζεται να σημειωθεί ότι η παρούσα ανασκόπηση αφορά παιδαγωγικές παρεμβάσεις που είναι ενσωματωμένες στο μαθησιακό περιβάλλον. Αυτό σημαίνει ότι τυχόν άμεσες παρεμβάσεις του εκπαιδευτικού κατά τη

διάρκεια της διδασκαλίας δεν έχουν ληφθεί υπόψη. Οι Oh και Oh (2011) ανασκόπησαν τη διεθνή βιβλιογραφία με σκοπό να προσδιορίσουν τι χρειάζεται να γνωρίζουν οι εκπαιδευτικοί των Φυσικών Επιστημών σχετικά με τα επιστημονικά μοντέλα, δηλαδή τη γνώση περιεχομένου για τα επιστημονικά μοντέλα και τη μοντελοποίηση. Πρότειναν ότι οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να κατανοούν τι είναι ένα επιστημονικό μοντέλο, τους σκοπούς και τις χρήσεις της επιστημονικής μοντελοποίησης, την πολλαπλότητα των επιστημονικών μοντέλων, καθώς και τις αλλαγές που μπορεί να υφίστανται.

Ως προς την παιδαγωγική για τη διδασκαλία των επιστημονικών μοντέλων και της μοντελοποίησης, τόνισαν ότι οι εκπαιδευτικοί των Φυσικών Επιστημών δεν θα πρέπει να υιοθετούν μόνο μια προσέγγιση προσανατολισμένη στο περιεχόμενο των μοντέλων, η οποία εστιάζει στη μετάδοση του περιεχομένου των μοντέλων, αλλά και προσεγγίσεις προσανατολισμένες στη σκέψη μέσω μοντέλων και στην παραγωγή μοντέλων, οι οποίες εμπλέκουν τους μαθητές στη δημιουργία και χρήση μοντέλων για την εξήγηση επιστημονικών φαινομένων. Πρότειναν επίσης ότι οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να αναπτύσσουν πέντε τύπους παιδαγωγικών προσεγγίσεων μοντελοποίησης, συγκεκριμένα την εξερευνητική, την εκφραστική, την πειραματική ή διερευνητική, την αξιολογική και την κυκλική μοντελοποίηση, όπως επιβεβαιώθηκε αργότερα σε ανασκόπηση 81 εμπειρικών μελετών από τους Campbell et al. (2015).

3.3 Γνωστικά πεδία

Οι επιλεγμένες ανασκοπήσεις που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση περιγράφουν τη μάθηση μέσω μοντελοποίησης στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες. Η Φυσική και η Βιολογία εμφανίζονται συχνότερα στη βιβλιογραφία, ενώ η Χημεία και οι Επιστήμες της Γης ή οι Περιβαλλοντικές Επιστήμες εξετάζονται σε μικρότερο βαθμό. Στη **Φυσική**, τα παραδείγματα περιλαμβάνουν την κίνηση και την επιτάχυνση, τη δύναμη και την κίνηση, τη διάχυση και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό ενός σπιτιού. Η **Αστρονομία** εμφανίζεται σε μελέτες σχετικά με το ηλιακό σύστημα και χωρικά συναφείς έννοιες της αστρονομίας. Στη **Βιολογία**, οι μελέτες έχουν εξετάσει την ανάπτυξη των φυτών, τις κυτταρικές δομές, τα θαλάσσια οικοσυστήματα και τα οικοσυστήματα ποταμών/ρεμάτων. Παραδείγματα από τη **Χημεία** περιλαμβάνουν τις μοριακές δομές και τη χρωματογραφία, τις χημικές αντιδράσεις και τη χημική ισορροπία. Οι μελέτες στις **Επιστήμες της Γης** και στις **Περιβαλλοντικές Επιστήμες** καλύπτουν την τεκτονική των πλακών, τα ηφαίστεια, τα οικοσυστήματα ποταμών/ρεμάτων, την υπερθέρμανση του πλανήτη, τον κύκλο του νερού μέσω δραστηριοτήτων διήθησης, καθώς και την ανάπτυξη μοντέλων για την ποιότητα του νερού. Ο Πίνακας 2 παρέχει μια επισκόπηση των θεμάτων που περιγράφονται στις επιλεγμένες ανασκοπήσεις, μαζί με την κατά προσέγγιση ηλικιακή ομάδα για την οποία προορίζεται κάθε δραστηριότητα μοντελοποίησης. Στον πίνακα αυτό παρατίθενται δευτερογενείς αναφορές στα άρθρα που εξετάστηκαν.

Πίνακας 2 Γνωστικά πεδία που καλύπτονται με βάση τα άρθρα ανασκόπησης που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση, συμπεριλαμβανομένων δευτερογενών αναφορών

Γνωστικό πεδίο	Θέμα	Ηλικιακή ομάδα	Αναφορά
Φυσική	Κίνηση και επιτάχυνση	11–12; 16–17	(Louca et al., 2011; Sins et al., 2009)
	Δύναμη και κίνηση	12–13	(Schwarz & White, 2005)
	Διάχυση	11–12	(Louca et al., 2011)
	Ρύθμιση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό ενός σπιτιού	16–17	(Löhner et al., 2003)
Βιολογία	Ηλιακό σύστημα και χωρικές έννοιες της αστρονομίας	18–22	(Barab et al., 2000; Hansen et al., 2004)
	Ανάπτυξη φυτών	14	(Ergazaki et al., 2007)
	Κυτταρικές δομές	4–5	(Cruz-Guzmán et al., 2020)
	Θαλάσσια οικοσυστήματα	10–11	(Papaevripidou et al., 2007)
Χημεία	Οικοσυστήματα ποταμών/ρεμάτων	14–15; 21–23	(Crawford & Cullin, 2005; Stratford et al., 1998)
	Μοριακές δομές & χρωματογραφία	21–23	(Aalbergsjø & Sollid, 2021)
	Χημικές αντιδράσεις	17–18	(Dori & Kaberman, 2012)
	Χημική ισορροπία	14–15	(Maia & Justi, 2009)
Επιστήμες της Γης & Περιβαλλοντικές	Τεκτονική των πλακών	12–17	(Gobert, 2000)
	Ηφαίστεια	12–13	(Pluta et al., 2011)
	Οικοσυστήματα ποταμών/ρεμάτων	14–15	(Stratford et al., 1998)
	Υπερθέρμανση του πλανήτη	16–17	(van Borkulo et al., 2012)
Επιστήμες	Μοντελοποίηση της ποιότητας του νερού	22–25	(Zhang et al., 2006)

Τα άρθρα που εξετάστηκαν για την περίοδο 2020-2025 καλύπτουν τη Βιολογία, τη Φυσική, τη Χημεία, τις Επιστήμες της Γης και τις Περιβαλλοντικές Επιστήμες. Στη Βιολογία, η μοντελοποίηση εστιάζει σε συστήματα όπως το πεπτικό σύστημα, τα οικοσυστήματα και η βιοποικιλότητα. Οι ενότητες της Φυσικής εστιάζουν κυρίως σε φαινόμενα που δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμα, όπως η ενέργεια, ο ήχος και η ηλεκτροστατική. Η διδασκαλία της Χημείας επικεντρώνεται σε εξηγήσεις σε επίπεδο σωματιδίων, όπως η συμπεριφορά των αερίων, η θερμότητα και η πίεση. Οι Επιστήμες της Γης και οι Περιβαλλοντικές Επιστήμες εμπλέκουν τους μαθητές στην κατανόηση της κλιματικής αλλαγής, της ποιότητας του νερού και των ανθρωπίνων επιπτώσεων στα συστήματα της Γης.

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει μια επισκόπηση των γνωστικών πεδίων που καλύπτονται από τα άρθρα που συμπεριλήφθηκαν στην ανασκόπηση. Σε σύγκριση με τον Πίνακα 2, μπορέσαμε να συμπεριλάβουμε περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το πλαίσιο στο οποίο εξετάστηκαν τα γνωστικά πεδία, καθώς μελετήσαμε τα αρχικά άρθρα στα οποία παραπέμπουν οι επιλεγμένες ανασκοπήσεις.

Πίνακας 3 Επισκόπηση των γνωστικών πεδίων, των θεμάτων, των ηλικιακών ομάδων και των πλαισίων που εξετάζονται στα άρθρα που συμπεριλήφθηκαν στην ανασκόπηση

Γνωστικό πεδίο	Θέμα	Ηλικιακή ομάδα	Πλαίσιο	Αναφορά
Βιολογία	Πεπτικό σύστημα	Γυμνάσιο	Μοντελοποίηση υποστηριζόμενη από την υπολογιστική σκέψη για την κατανόηση σύνθετων αλληλεπιδράσεων μεταξύ οργάνων. Ευθυγραμμίζεται με την έμφαση του τουρκικού αναλυτικού προγράμματος στα συστήματα διατροφής.	(Arik & Torcu, 2022)
	Οικοσυστήματα και βιοποικιλότητα	Τάξεις 6-8	Ενότητα βασισμένη σε κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα, η οποία εστιάζει σε ένα τοπικό οικολογικό πρόβλημα («λευκή πεταλούδα») και αξιοποιεί τη μάθηση μέσω μοντελοποίησης στο πλαίσιο του τουρκικού αναλυτικού προγράμματος των Φυσικών Επιστημών.	(Durak & Torcu, 2023)
	Υδάτινη οικολογία και οικοσυστήματα	Τάξεις 5–6	Διδακτική ενότητα με αφηγηματική γραμμή, ευθυγραμμισμένη με τα NGSS, σχετικά με τις ανθίσεις φυκών. Περιλαμβάνει μακροχρόνιες οικολογικές διερευνήσεις στις ΗΠΑ.	(Lindgren et al., 2021)
	Καρδιαγγειακό/κυκλοφορικό σύστημα	Ηλικίες 5-6	Σχεδιασμένη σύμφωνα με το Μεξικανικό Πρόγραμμα Προσχολικής Εκπαίδευσης, η διδακτική ακολουθία διερευνά τις φλέβες, τη λειτουργία της καρδιάς, την κυκλοφορία του αίματος και τη θερμορρύθμιση.	(De Alba Villaseñor & Ramos de Robles, 2020)
	Κύτταρα, ιστοί και μικροοργανισμοί	Ηλικίες 10–13	Μελέτη σε δημόσια σχολεία της Χιλής, με έμφαση στην οπτικοποίηση κυτταρικών δομών, τη μικροσκοπία και την αναπαράσταση μικροσκοπικών βιολογικών φαινομένων	(Rodríguez Mora & Blanco López, 2020)

Φυσική	Υδάτινη οικολογία και οικοσυστήματα	Τάξη 7	Εφαρμογή σε πραγματική τάξη μιας διδακτικής ακολουθίας που οργανώνεται γύρω από ένα τοπικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, δηλαδή τη μαζική θνησιμότητα ψαριών και φυκών που προκαλείται από την απόρριψη άλμης.	(Jiménez-Liso et al., 2021)
	Ανοσοποιητικό σύστημα, αντιγόνα, κύτταρα μνήμης κ.ά.	Ηλικίες 11–16	Εφαρμόστηκε σε σχολείο του δήμου στην Praia Grande της Βραζιλίας κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19, διερευνώντας έννοιες του ανοσοποιητικού συστήματος και του εμβολιασμού.	(Guimarães Siles & Perticarrari, 2025)
	Δυναμική οικοσυστημάτων	Τάξη 10	Η μελέτη αξιοποιεί περιβάλλον υπολογιστικών φύλλων, όπως Calc/Excel, για την κατασκευή και την επαναληπτική βελτίωση υπολογιστικών μοντέλων της δυναμικής των οικοσυστημάτων.	(Domènech-Casal, 2020)
	Ηλεκτροστατική	Ηλικίες 9-10	Ο ρόλος των πρακτικών πειραμάτων και των προσομοιώσεων PhET στην ανάπτυξη ενός μοντέλου και στη σύνδεσή του με τον πραγματικό φυσικό κόσμο. Πρόκειται για ενότητα Φυσικής στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση, ευθυγραμμισμένη με το ιταλικό εθνικό αναλυτικό πρόγραμμα των Φυσικών Επιστημών.	(Bozzo et al., 2022)
	Ήχος	Τάξη 6	Σύγκριση της διερεύνησης βασισμένης σε μοντέλα και της διερεύνησης βασισμένης σε μοντέλα με υποστήριξη επιχειρηματολογίας, η οποία εφαρμόστηκε σε δημόσια σχολεία της Τουρκίας.	(Geçgil & Akçay, 2024)
	Μορφές, μεταφορά και	Τάξεις 4-5	Ανάπτυξη και αξιολόγηση της ενότητας «Focus on	(Geçgil & Akçay, 2024)

	μετατροπή ενέργειας		Energy», η οποία είναι ευθυγραμμισμένη με τα NGSS και αξιοποιεί τη διερεύνηση βασισμένη σε μοντέλα. Δοκιμάστηκε σε σχολεία ανώτερης πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης στις ΗΠΑ.	
	Σωματιδιακό μοντέλο της ύλης	Νηπιαγωγείο	Διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η τεχνολογικά υποστηριζόμενη μάθηση μέσω μοντελοποίησης επηρεάζει την ανάπτυξη των μοντέλων των παιδιών για την ύλη στις ΗΠΑ.	(Samarapung avan et al., 2023)
	Μέτρηση και αβεβαιότητα	Τάξη 5	Ενότητα που δίνει έμφαση στην αβεβαιότητα των μετρήσεων, στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων και στον συλλογισμό σε ένα αυθεντικό πλαίσιο της καθημερινής ζωής, στο μάθημα των Φυσικών Επιστημών στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση στην Κίνα.	(Tang et al., 2024)
	Άνωση	Τάξη 1	Διερευνητικές δραστηριότητες που αξιοποιούν ρουτίνες πρόβλεψης-παρατήρησης- εξήγησης και καθοδηγούμενες ερωτήσεις για τη διερεύνηση των αιτιών της άνωσης.	(García- Rodeja et al., 2023)
Χημεία	Διάλυση αερίου σε υγρό	Ηλικίες 13–14	Διδακτική ακολουθία 14 δραστηριοτήτων που συνδέεται με την κινητική μοριακή θεωρία και εφαρμόστηκε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες στην Ισπανία.	(Cañero-Arias et al., 2024)
	Άνωση, θερμοχωρητικό- τα, πίεση υγρών	Τάξεις 8-9	Η επίδραση της διερεύνησης βασισμένης σε μοντέλα με υποστήριξη εικονικού εργαστηρίου. Οι διδακτικές ενότητες συνσχεδιάστηκαν με εκπαιδευτικούς και εφαρμόστηκαν στο αναλυτικό πρόγραμμα των	(Chang et al., 2024)

Επιστήμες της Γης	Φυσικών Επιστημών της κατώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ταϊβάν.		
	Οξέα και βάσεις	Ηλικίες 13-14	Διδακτική ακολουθία διερεύνησης βασισμένης σε μοντέλα, η οποία εστιάζει στην ενίσχυση της εμπλοκής των μαθητών. Εφαρμόστηκε σε σχολεία αγροτικών περιοχών της Ισπανίας, όπου η χημεία οξέων-βάσεων σπάνια διδάσκεται σε αυτό το επίπεδο. (Jimenez-Liso et al., 2022)
	Κινητική μοριακή θεωρία, διάχυση, πυκνότητα, νόμοι των αερίων	Τάξεις 7-11	Σύγκριση της μάθησης μέσω μοντελοποίησης με ηχητικοποιημένα μοντέλα για τυφλούς μαθητές και οπτικά μοντέλα για βλέποντες μαθητές. Η μελέτη εφαρμόστηκε στο Ισραήλ. (Peleg et al., 2024)
	Ζύμωση	Τάξη 10	Αξιοποίηση ενός πραγματικού πλαισίου σχετικού με τα τρόφιμα και την υγεία για τη διερεύνηση της ζύμωσης και των χημικών αντιδράσεων στην Ισπανία. (Muñoz- Campos et al., 2020)
	Διαλύματα και μέθοδοι διαχωρισμού	Τάξεις 9 και 10	Ενότητα δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ισπανία που εξετάζει την κατανάλωση πόσιμου νερού, δηλαδή νερό βρύσης έναντι εμφιαλωμένου, τον χημικό χαρακτηρισμό του νερού, την καθαρότητα, τις μεθόδους διαχωρισμού, τις επιπτώσεις στην υγεία και περιβαλλοντικά ζητήματα που συνδέονται με τη μαζική χρήση εμφιαλωμένου νερού. (Rodríguez Mora & Blanco López, 2020)
	Παγκόσμια κλιματική αλλαγή, θερμοκρασία της Γης	Τάξη 9	Σύγκριση διερευνήσεων για το κλίμα της Γης που βασίζονται στη μοντελοποίηση και διερευνήσεων που δεν βασίζονται στη μοντελοποίηση. (Bhattacharya et al., 2021)

Περιβαλλοντικές επιστήμες (Διεπιστημονικό πεδίο)			Χρησιμοποιήθηκαν κλιματικές προσομοιώσεις EzGCM για τη μοντελοποίηση, με έμφαση στα αποδεικτικά στοιχεία, στον συστημικό συλλογισμό και στην ανθρώπινη επίδραση.	
	Μεταβολή της μάζας της Γης και χημικοί μετασχηματισμοί	Τάξεις 8-9	Δραστηριότητα νοητικού πειράματος που πραγματοποιήθηκε σε δίγλωσσα και ισπανικά σχολεία, ενσωματώνοντας τη Χημεία και τη Βιολογία σε πλαίσιο των Επιστημών της Γης, με στόχο τη διερεύνηση της μεταβολής της μάζας της Γης και των χημικών μετασχηματισμών.	(Oliva et al., 2021)
	Γεωλογία, διάστημα, ατμοσφαιρική ρύπανση, ανθρώπινη υγεία	Τάξεις 1–6	Ανάλυση του ισπανικού αναλυτικού προγράμματος πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, η οποία αναδεικνύει την περιθωριοποίηση του περιεχομένου των Επιστημών της Γης μέσω της ένταξής του στις Κοινωνικές Επιστήμες και όχι στις Φυσικές Επιστήμες.	(Achurra et al., 2022)
	Εξωτερική γεωδυναμική & γεωλογική κληρονομιά	Τάξη 9	Διδακτική ακολουθία σχετικά με επιστημονικές πρακτικές και κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα που συνδέονται με τη γεωλογική κληρονομιά της Ισπανίας, με έμφαση στην εξωτερική γεωδυναμική και τον σχηματισμό του τοπίου.	(Paz Otero & Puig, 2020)
	Φαινόμενο του θερμοκηπίου, οικολογικό αποτύπωμα, ενέργεια, ορυκτά καύσιμα, αποψίλωση των δασών	Τάξη 8	Ενότητα που συνδυάζει κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα, επιστημονική μοντελοποίηση και συστημική σκέψη, βασισμένη στο πλαίσιο SIMBL. Εφαρμόστηκε στην Τουρκία.	(Durak & Torcu, 2023)
	Ποιότητα και καθαρισμός του νερού	Τάξη 8	Διδασκαλία βασισμένη στο SIMBL, με έμφαση στον τεκμηριωμένο, βάσει	(Jia & Ren, 2025)

Από τον Πίνακα 2 και τον Πίνακα 3 μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η μάθηση μέσω μοντελοποίησης χρησιμοποιείται κυρίως σε περιεχόμενο που περιλαμβάνει δυναμικά και συχνά μη ορατά φαινόμενα, όπου η κατανόηση εξαρτάται από την αναπαράσταση αλληλεπιδράσεων, μηχανισμών και μεταβολών στον χρόνο. Τα κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα κατέχουν εξέχουσα θέση, τοποθετώντας τη μάθηση σε πραγματικά πλαίσια που απαιτούν από τους μαθητές να αξιολογούν αποδεικτικά στοιχεία, να λαμβάνουν υπόψη πολλαπλές οπτικές και να συλλογίζονται σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις ανθρώπου-περιβάλλοντος. Συνολικά, οι μελέτες αυτές δείχνουν ότι η μάθηση μέσω μοντελοποίησης εφαρμόζεται σε περιεχόμενο όπου ο συλλογισμός σε επίπεδο συστήματος, η αιτιώδης κατανόηση και η εμπλοκή με κοινωνικά ζητήματα είναι κεντρικά για τα υπό διερεύνηση φαινόμενα.

3.4 Εργαλεία

Η έρευνα για τη μάθηση μέσω μοντελοποίησης αναδεικνύει μια ποικιλία εργαλείων και προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη της ικανότητας μοντελοποίησης των μαθητών. Μια βασική διάκριση γίνεται μεταξύ εργαλείων που δεν βασίζονται σε υπολογιστή και εργαλείων που βασίζονται σε υπολογιστή. Για καθεμία από αυτές τις δύο περιπτώσεις, δημιουργήσαμε ξεχωριστή τυπολογία με βάση τις ανασκοπήσεις που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση και διερευνήσαμε τη χρήση και την εφαρμογή των εργαλείων στα άρθρα που εντοπίστηκαν από την αναζήτησή μας.

Εργαλεία μοντελοποίησης που δεν βασίζονται σε υπολογιστή

Οι Chan et al. (2025) και Margolin et al. (2022) περιγράφουν διάφορα εργαλεία μοντελοποίησης που δεν βασίζονται σε υπολογιστή και χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση εκπαιδευτικών Φυσικών Επιστημών. **Φυσικά μοντέλα**, όπως μακέτες, ζυμαρικά και διατάξεις με ανεμιστήρες, χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαράσταση μοριακών δομών και διαδικασιών χρωματογραφίας (Aalbergsjøl & Sollid, 2021; Cruz-Guzmán et al., 2020). **Σχέδια, διαγράμματα και εννοιολογικοί χάρτες** χρησιμοποιήθηκαν για την εξωτερίκευση και την αναθεώρηση νοητικών μοντέλων (Cruz-Guzmán et al., 2023; Nelson & Davis, 2012; Torres & Vasconcelos, 2016, 2021; Valanides & Angeli, 2008). **Χειραπτικά υλικά**, όπως M&Ms και ζελεδάκια, λειτούργησαν ως ανάλογα για κύτταρα και τύπους μοντέλων, υποστηρίζοντας την κριτική προσέγγιση και την παιγνιώδη διερεύνηση (Everett et al., 2009). **Πρακτικές δραστηριότητες, απλά πειράματα και διατάξεις τύπου «μαύρου κουτιού»** με σχοινιά και σωλήνες χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση μοντέλων (Aalbergsjøl & Sollid, 2021; Crawford & Cullin, 2005; Jimenez-Liso et al., 2022). Αναφέρθηκαν επίσης **δραστηριότητες με σωματική συμμετοχή και παιχνίδι ρόλων** (Enyedy et al., 2012; Schwarz et al., 2022), καθώς

και η χρήση **επαυξημένης πραγματικότητας** και **απτικής ανατροφοδότησης**. Στα πρόσφατα άρθρα που εξετάστηκαν, παρατηρείται επίσης η χρήση σχεδίων, καθώς και η αξιοποίηση πρακτικών δραστηριοτήτων, για παράδειγμα με τη μορφή κύβων ενέργειας.

Στην ισπανόγλωσση ανασκόπηση, εντοπίζεται ένα παρόμοιο σύνολο εργαλείων μοντελοποίησης που δεν βασίζονται σε υπολογιστή. Τα σχέδια και τα διαγράμματα χρησιμοποιούνται συχνά για την εξωτερίκευση και τη βελτίωση των εξηγήσεων των μαθητών (Jiménez-Liso et al., 2021; Muñoz Campos et al., 2020; Paz Otero & Puig, 2020). Οι πρακτικές εργαστηριακές δραστηριότητες εμφανίζονται επίσης συχνά, υποστηρίζοντας τη διερεύνηση της άνωσης, των κυτταρικών διεργασιών, της χημικής μεταβολής ή της χημείας του νερού (García-Rodeja et al., 2023; Grimalt-Álvaro et al., 2021; Muñoz Campos et al., 2020; Rodríguez Mora & Blanco López, 2020). Ωστόσο, πολλές μελέτες βασίζονται επιπλέον σε εργασίες με χαρτί και μολύβι, για τη διατύπωση και τη βελτίωση μοντέλων και εξηγήσεων (García-Rodeja et al., 2023; Guimarães Siles & Perticarrari, 2025; Muñoz Campos et al., 2020; Oliva et al., 2021; Rodríguez Mora & Blanco López, 2020). Αντίθετα, στο ισπανόγλωσσο σώμα κειμένων δεν εντοπίσαμε παραδείγματα δραστηριοτήτων «μαύρου κουτιού», παιχνιδιού ρόλων ή ενσώματης μοντελοποίησης, επαυξημένης πραγματικότητας ή εργαλείων απτικής ανατροφοδότησης.

Εργαλεία υπολογιστικής μοντελοποίησης

Οι Nicolaou και Constantinou (2014b) κατηγοριοποίησαν παραδείγματα από τη βιβλιογραφία σύμφωνα με τις κατηγορίες που προτάθηκαν από τον Löhner (Löhner et al., 2005). Ο Löhner διακρίνει μεταξύ **εργαλείων μοντελοποίησης συστημάτων** —τα οποία περιλαμβάνουν εργαλεία προσανατολισμένα σε εξισώσεις και εργαλεία προσανατολισμένα σε διαγράμματα/δομές— και **εργαλείων βασισμένων στην ανάδυση (emergence-based tools)**, τα οποία εστιάζουν στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ διακριτών μονάδων.

- Τα εργαλεία προσανατολισμένα σε εξισώσεις περιλαμβάνουν περιβάλλοντα προγραμματισμού που απαιτούν συγγραφή κώδικα (LOGO, Boxer), καθώς και εργαλεία βασισμένα σε εξισώσεις που δεν απαιτούν προγραμματισμό (DMS, Modellus, Dynamo).
- Τα εργαλεία προσανατολισμένα σε διαγράμματα/δομές μπορούν να είναι ποσοτικά (Stella, Powersim, Dynasim, Vensim, Functional Blocks) ή ημιποσοτικά (IQON, VISQ, LinkIt, Modellt).
- Τα εργαλεία βασισμένα στην ανάδυση περιλαμβάνουν εργαλεία βασισμένα σε αντικείμενα (StarLogo, OOTL's) και κυτταρικά αυτόματα (AgentSheets, Stagecast Creator).

Ορισμένα εργαλεία από τις μελέτες που εξετάστηκαν δεν εντάσσονται εύκολα στην ταξινόμηση του Löhner. Τα εργαλεία που βασίζονται στο Colab συνδυάζουν στοιχεία διαγραμματικού προσανατολισμού, όπως οι προσομοιώσεις, και στοιχεία προσανατολισμένα σε εξισώσεις, όπως το κείμενο, ενώ το Microworlds LOGO λειτουργεί τόσο ως περιβάλλον προγραμματισμού προσανατολισμένο σε εξισώσεις όσο και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ως πλατφόρμα βασισμένη σε πράκτορες (agent-based platform).

Οι Langbeheim και Bielik (2025) διακρίνουν μεταξύ **μοντέλων βασισμένων σε περιορισμούς (*constraint-based models*)** και **μοντέλων βασισμένων σε πράκτορες**. Τα μοντέλα βασισμένα σε περιορισμούς εστιάζουν στο σύστημα ως σύνολο, ενώ τα μοντέλα βασισμένα σε πράκτορες επικεντρώνονται σε αναπαραστάσεις συστατικών ή οντοτήτων ενός συστήματος. Τα **μοντέλα δυναμικής συστημάτων**, τα οποία αποτελούν την κύρια μορφή των μοντέλων βασισμένων σε περιορισμούς, χρησιμοποιούν διαφορικές εξισώσεις για να περιγράψουν πώς μεταβάλλονται οι μεταβλητές ενός συστήματος με την πάροδο του χρόνου και επιτρέπουν την τροποποίηση αυτών των μεταβλητών, ώστε να παρατηρούνται οι επιδράσεις στο σύνολο του συστήματος.

Παραδείγματα εργαλείων υπολογιστικής μοντελοποίησης για μοντέλα βασισμένα σε περιορισμούς είναι τα Model-it, Stella και SageModeler. Τα μοντέλα βασισμένα σε πράκτορες μπορούν να κατασκευαστούν σε γενικά προγραμματιστικά περιβάλλοντα, όπως τα Boxer (DiSessa et al., 1991), Scratch (Resnick et al., 2009) και Logo (Papert, 1980). Πιο σύνθετα μοντέλα με πολλούς πράκτορες μπορούν να δημιουργηθούν στο NetLogo (Wilensky & Reisman, 2006) και στο StarLogo (Han & Uhm, 2024; Pierson & Brady, 2020).

Πέρα από τα εργαλεία που έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν γενική μοντελοποίηση, υπάρχουν και εργαλεία αφιερωμένα στη μοντελοποίηση συγκεκριμένων γνωστικών πεδίων, όπως συστήματα σωματιδίων ή μοντέλα κυτταρικής αναπνοής¹. Τέτοια εργαλεία περιορίζονται στο συγκεκριμένο γνωστικό τους πεδίο, αλλά μπορούν να είναι πιο εξελιγμένα, με την έννοια ότι συνήθεις συμπεριφορές ενός συγκεκριμένου πεδίου μπορούν να ενσωματώνονται στο ίδιο το εργαλείο.

Στα πρόσφατα άρθρα που συλλέχθηκαν για την ανασκόπηση, παρατηρούμε ότι 13 χρησιμοποιούν κάποιο εργαλείο υπολογιστικής μοντελοποίησης, από τα οποία τα οκτώ αξιοποιούν γενικά εργαλεία μοντελοποίησης και τα πέντε βασίζονται σε εργαλεία ειδικά σχεδιασμένα για συγκεκριμένα γνωστικά πεδία. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει μια επισκόπηση αυτών των εργαλείων.

Πίνακας 4 Επισκόπηση των εργαλείων μοντελοποίησης που εντοπίστηκαν στα άρθρα που εξετάστηκαν

Είδος εργαλείου	Εκπαιδευτικό επίπεδο	Γνωστικό πεδίο	Θέμα μελέτης	Αναφορά
Δυναμική συστημάτων	Γυμνάσιο	Επιστήμες της Γης	Παγκόσμια κλιματική αλλαγή, θερμοκρασία της Γης	(Bhattacharya et al., 2021)
	Πανεπιστήμιο	Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Βιολογία	Προώθηση της συστημικής σκέψης και της υιοθέτησης διαφορετικών οπτικών μέσω της μάθησης μέσω μοντελοποίησης	(Jordan et al., 2023)

¹ <https://cellcollective.org/>

Μοντέλα βασισμένα σε εξιιώσεις	Πανεπιστήμιο	Χημεία	Συλλογισμός βασισμένος στη μοντελοποίηση στη Χημεία	(Khan, 2025)
	Πανεπιστήμιο	Άλλο	Υποστηριζόμενα έργα υπολογιστικής μοντελοποίησης και προσομοίωσης στην προπτυχιακή εκπαίδευση μηχανικών	(Magana et al., 2024)
	Πανεπιστήμιο	Βιολογία	Δυναμική συστημάτων κυτταρικής αναπνοής	(Lucas et al., 2022)
Μοντέλα βασισμένα σε πράκτορες	Γυμνάσιο	Φυσική	Κινητική μοριακή θεωρία και νόμοι των αερίων	(Peleg et al., 2024)19/8/2026 8:43:00 μμ
	Πανεπιστήμιο	Άλλο	Αξιολόγηση σχεδιασμού λογισμικού με χρήση διαγραμμάτων UML	(Prasad & Iyer, 2022)
	Πανεπιστήμιο	Άλλο	Εκπαίδευση εκπαιδευτικών Φυσικών Επιστημών. Κατασκευή επιστημονικών προσομοιώσεων μέσω προγραμματισμού και επιστημολογική κατανόηση των μοντέλων	(L. Vasconcelos & Kim, 2022)
Εξειδικευμένα εργαλεία μοντελοποίησης ανά γνωστικό πεδίο	Προσχολική εκπαίδευση	Φυσική	Καταστάσεις της ύλης και μεταβολές φάσης (σωματιδιακή φύση της ύλης)	(Samarapungavan et al., 2023)
	Ανώτερη πρωτοβάθμια εκπαίδευση	Φυσική	Ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις	(Bozzo et al., 2022)
	Ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση	Φυσική	Άνωση, θερμοχωρητικότητα και πίεση σε υγρό	(Chang et al., 2024)
	Ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση	Χημεία	Ηλεκτροχημεία (ηλεκτροχημικά στοιχεία, ηλεκτρόλυση,	(Lin & Wu, 2021)

		ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση)	
Πανεπιστήμιο	Διαθεματικό	Συστημική σκέψη και εννοιολογική μοντελοποίηση (OPM/OPCloud) σε διαθεματικά πλαίσια	(Peretz et al., 2023)

Από τον πίνακα διαπιστώνουμε ότι τα γενικά εργαλεία χρησιμοποιούνται κυρίως στην ανώτερη δευτεροβάθμια και στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, ενώ η ηλικιακή ομάδα της πρωτοβάθμιας και της κατώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης προσεγγίζεται συχνότερα, στις μελέτες που περιλαμβάνονται στην παρούσα ανασκόπηση, μέσω εξειδικευμένων εργαλείων ανά γνωστικό πεδίο. Αυτό ενδέχεται να υποδηλώνει ότι τα γενικά εργαλεία απαιτούν δεξιότητες που βρίσκονται πέρα από τις δυνατότητες μικρότερων παιδιών. Η σύγχρονη βιβλιογραφία παρουσιάζει ορισμένα παραδείγματα που ενδέχεται να προσφέρουν κατευθύνσεις για να καταστούν τα γενικά εργαλεία μοντελοποίησης προσβάσιμα σε μικρότερα παιδιά. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση τεχνικών βασισμένων στην τεχνητή νοημοσύνη για τη μετατροπή ποιοτικών εννοιολογικών χαρτών σε υπολογιστικά μοντέλα, όπως συμβαίνει στο σύστημα MentalModeler (Jordan et al., 2023). Άλλα παραδείγματα περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση στοιχείων ειδικών για συγκεκριμένα γνωστικά πεδία, καθώς και ποιοτικών και ημιποσοτικών τεχνικών μοντελοποίησης σε εργαλεία μοντελοποίησης δυναμικής συστημάτων, όπως συμβαίνει στο SageModeler (Damelin et al., 2017).

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, στην ισπανόγλωσση ανασκόπηση η χρήση εργαλείων υπολογιστικής μοντελοποίησης είναι πολύ πιο περιορισμένη σε σύγκριση με το διεθνές σώμα κειμένων. Μόνο μία μελέτη ενσωματώνει ψηφιακά περιβάλλοντα μοντελοποίησης, συγκεκριμένα προσομοιώσεις βασισμένες σε υπολογιστικά φύλλα για τη δυναμική οικοσυστημάτων (Domènech-Casal, 2020). Τα γενικής χρήσης εργαλεία μοντελοποίησης, όπως περιβάλλοντα μοντελοποίησης δυναμικής συστημάτων ή περιβάλλοντα μοντελοποίησης βασισμένα σε πράκτορες, απουσιάζουν σε μεγάλο βαθμό από το ισπανόγλωσσο σύνολο δεδομένων. Αυτό υποδηλώνει ότι η υπολογιστική μοντελοποίηση στη συγκεκριμένη βιβλιογραφία παραμένει στενά συνδεδεμένη με συγκεκριμένα γνωστικά πεδία και όχι με γενικούς φορμαλισμούς μοντελοποίησης.

4 Συνολικό συμπέρασμα και συζήτηση

Για το πρώτο ερευνητικό ερώτημα, διαπιστώνουμε ότι κυριαρχούν τρία πλαίσια: το πλαίσιο των πρακτικών μοντελοποίησης (NGSS, 2012), το πλαίσιο της διερεύνησης βασισμένης σε μοντέλα (Windschitl et al., 2008) και το πλαίσιο για την ικανότητα μοντελοποίησης (Urmeier Zu Belzen et al., 2019). Κεντρικά ζητήματα αποτελούν οι συνιστώσες της ικανότητας μοντελοποίησης, όπως η επιστημολογική γνώση για τη μοντελοποίηση, οι πρακτικές μοντελοποίησης, τα στοιχεία της ικανότητας μοντελοποίησης που συνδέονται με

συγκεκριμένα γνωστικά πεδία, καθώς και πτυχές που αφορούν τις στάσεις και τα κίνητρα. Η βιβλιογραφία παρέχει σημαντικές ιδέες για τις πτυχές αυτές, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν ως βάση για ένα πλαίσιο που θα χρησιμοποιηθεί στο έργο EMPOWER.

Για το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, αρχικά διαπιστώνουμε την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας των διαδικασιών μοντελοποίησης, ώστε να καταστεί πιο σαφές πώς μπορεί να διαμορφωθεί η παιδαγωγική υποστήριξη για μαθητές που εμπλέκονται στη μάθηση μέσω μοντελοποίησης. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες εκδοχές ενός κύκλου μοντελοποίησης, με τον κύκλο IPM να αποτελεί μια πρόσφατη προσθήκη. Παρόλο που οι κύκλοι αποτελούν ελκυστικά μέσα αναπαράστασης διαδικασιών, χρειάζεται να έχουμε υπόψη ότι, στην πράξη, οι διαδικασίες μπορεί να είναι λιγότερο γραμμικές και λιγότερο δομημένες. Επομένως, ίσως είναι προτιμότερο να εστιάσουμε στις επιμέρους διαδικασίες μοντελοποίησης, δηλαδή στα βήματα του κύκλου μοντελοποίησης, και στο είδος της υποστήριξης που απαιτείται για καθένα από αυτά τα βήματα. Στον Πίνακα 1 παρουσιάσαμε αυτή την προσέγγιση με τη μορφή ερωτημάτων που μπορούν να παρέχουν υποστήριξη σε κάθε φάση. Βασικό χαρακτηριστικό του πίνακα αυτού είναι η έμφαση τόσο στη διαδικασία μοντελοποίησης όσο και στις πτυχές της επιστημολογικής γνώσης για τη μοντελοποίηση. Τα άρθρα που εξετάστηκαν παρέχουν διάφορα παραδείγματα μέσων υποστήριξης για ποικίλες πτυχές της διαδικασίας μοντελοποίησης. Τα κύρια ευρήματα είναι τα εξής:

- Η χρήση οπτικών ή/και φυσικών αναπαραστάσεων, όπως σχέδια, χειραπτικά αντικείμενα ή κινούμενες απεικονίσεις που δημιουργούνται από τους ίδιους τους χρήστες, έχει αξιοποιηθεί επανειλημμένα, ιδιαίτερα στις διερευνητικές φάσεις της διαδικασίας μοντελοποίησης.
- Στην υπολογιστική μοντελοποίηση, η εκμάθηση και η χρήση του φορμαλισμού της μοντελοποίησης είναι κρίσιμη. Απαιτείται ειδική υποστήριξη ως προς αυτή την πτυχή. Μια πιθανή μορφή υποστήριξης μπορεί να εντοπιστεί στις τεχνικές ποιοτικής μοντελοποίησης, οι οποίες επιτρέπουν τη δημιουργία μοντέλων χωρίς τη συγγραφή κώδικα ή εξισώσεων.
- Εκείνο που φαίνεται να απουσιάζει είναι η ρητή υποστήριξη της επιστημολογικής γνώσης για τη μοντελοποίηση, δηλαδή του αναστοχασμού σχετικά με τη φύση των μοντέλων και τον ρόλο τους στην επιστήμη και πέρα από αυτήν.

Από το σύνολο των άρθρων, συμπεριλαμβανομένων των ισπανόγλωσσων και γερμανόγλωσσων άρθρων, προκύπτει ότι παρέχονται υποστηρικτικά πλαίσια για τη δημιουργία μοντέλων, μέσω πρακτικών δραστηριοτήτων ενταγμένων σε συγκεκριμένα πλαίσια, όπως η όσμωση, η άνωση και η χημεία του πόσιμου νερού. Ωστόσο, μόνο λίγες μελέτες υποστηρίζουν ρητά τον έλεγχο και την αναθεώρηση των μοντέλων. Σε όλες τις μελέτες δίνεται έμφαση στη «Διερεύνηση» και στη «Δημιουργία», ενώ οι περιπτώσεις που αφορούν τον «Έλεγχο», την «Αναθεώρηση» και τη «Χρήση» μοντέλων είναι σαφώς λιγότερες.

Σε σχέση με τα γνωστικά πεδία, τα οποία αποτελούν αντικείμενο του τρίτου ερευνητικού ερωτήματος, παρατηρείται ποικιλία θεμάτων που εκτείνονται στις Φυσικές Επιστήμες. Μια σαφής τάση είναι η αυξανόμενη έμφαση στα κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα, όπως η κλιματική μοντελοποίηση, γεγονός που μετατοπίζει τη μοντελοποίηση από κάτι «εσωτερικό» στην επιστήμη σε μια σημαντική ικανότητα για όλους. Είναι επίσης εμφανές ότι η μοντελοποίηση εφαρμόζεται σε όλες τις ηλικίες, συμπεριλαμβανομένων των ηλικιών 5–15 ετών, οι οποίες αποτελούν την ομάδα-στόχο του παρόντος έργου. Οι ισπανόγλωσσες μελέτες εδράζονται επίσης σε αυθεντικά κοινωνικοπεριβαλλοντικά πλαίσια, όπως η διαχείριση παράκτιων περιοχών, η κατανάλωση εμφιαλωμένου νερού και ο εμβολιασμός κατά της COVID-19, τα οποία ευνοούν συστηματικά την κατασκευή μοντέλων, αλλά συχνά διατηρούν τη μοντελοποίηση συνδεδεμένη με το γνωστικό περιεχόμενο και όχι με γενικεύσιμους φορμαλισμούς μοντελοποίησης.

Τέλος, για το τέταρτο ερευνητικό ερώτημα, διαπιστώνουμε ότι η μάθηση μέσω μοντελοποίησης μπορεί να υποστηριχθεί τόσο από εργαλεία που δεν βασίζονται σε υπολογιστή, όπως φυσικά αντικείμενα, σχέδια και ενσώματες δραστηριότητες, όσο και από εργαλεία που βασίζονται σε υπολογιστή. Στη δεύτερη κατηγορία παρατηρείται πληθώρα παραδοσιακών προσεγγίσεων, όπως η δυναμική συστημάτων, οι εξισώσεις και τα μοντέλα βασισμένα σε πράκτορες, καθώς και εξειδικευμένα εργαλεία μοντελοποίησης ανά γνωστικό πεδίο.

Συνδυάζοντας τα συμπεράσματα, διαπιστώνουμε μια αυξανόμενη τάση εννοιολόγησης της ικανότητας μοντελοποίησης μέσω της ανάπτυξης πλαισίων, αλλά ταυτόχρονα και μια έλλειψη διδακτικής υποστήριξης για τις πτυχές ανώτερου επιπέδου αυτής της ικανότητας. Ωστόσο, για τη νεότερη ηλικιακή ομάδα που αποτελεί στόχο του έργου EMPOWER, δεν έχει ακόμη καταστεί σαφές πώς μπορεί να αναπτύσσεται η ικανότητα μοντελοποίησης με την ηλικία. Παράλληλα, εξετάζοντας τα γνωστικά πεδία που χρησιμοποιούνται συχνά σε διδακτικές δραστηριότητες μέσω μοντελοποίησης, η επιστημολογική γνώση για τη μοντελοποίηση αναδεικνύεται ως σημαντική, καθώς τα πεδία αυτά περιλαμβάνουν συχνά συστήματα που δεν είναι άμεσα ορατά. Αυτό σημαίνει ότι η κατανόηση του μοντέλου ως αναπαραστατικού συστήματος είναι καθοριστική. Τέλος, διαπιστώνουμε ότι τα γενικά εργαλεία μοντελοποίησης συνδέονται περισσότερο με ηλικίες άνω των 15 ετών, δηλαδή με ηλικίες μεγαλύτερες από την ομάδα-στόχο μας. Αυτό σημαίνει ότι παραμένει ανοιχτό το ερώτημα αν και με ποιον τρόπο τέτοια εργαλεία είναι πράγματι χρήσιμα για τον πληθυσμό-στόχο του έργου.

5 Βιβλιογραφία

- Aalbergsjø, S. G., & Sollid, P. Ø. (2021). Learning through modelling in science: Reflections by pre-service teachers.
- Achurra, A., Berreteaga, A., & Zamalloa, T. (2022). La desnaturalización de las Ciencias de la Tierra en el currículo LOMCE de Educación Primaria: Un análisis curricular desde la perspectiva de la práctica científica. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 20(1), 1303. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i1.1303
- Arik, M., & Topçu, M. (2022). Computational Thinking Integration into Science Classrooms: Example of Digestive System. *Journal of science education and technology*, 31(1), 99–115. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09934-z>
- Barab, S. A., Hay, K. E., Barnett, M., & Keating, T. (2000). Virtual solar system project: Building understanding through model building. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 719–756.
- Bhattacharya, D., Steward, K., & Forbes, C. (2021). Climate education in secondary science: Comparison of model-based and non-model-based investigations of Earth's climate. *International journal of science education*, 43(13), 2226–2249. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1958022>
- Bielik, T., Stephens, L., McIntyre, C., Damelin, D., & Krajcik, J. S. (2022). Supporting Student System Modelling Practice Through Curriculum and Technology Design. *Journal of Science Education and Technology*, 31(2), 217–231. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09943-y>
- Blikstein, P. (2014). Bifocal Modeling: Promoting Authentic Scientific Inquiry Through Exploring and Comparing Real and Ideal Systems Linked in Real-Time. *Gaming Media and Social Effects*, (Chapter 15), 317–352.
- Bozzo, G., Lopez, V., Couso, D., & Monti, F. (2022). Combining real and virtual activities about electrostatic interactions in primary school. *International journal of science education*, 44(18), 2704–2723. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2149284>
- Campbell, T., Gray, R., Bai, Y., & Chase, S. (2025). The Iterative Design of a Model-Based Inquiry Unit Planning Tool for Preservice Science Teachers. *Journal of science teacher education*, 36(6), 732–757. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2024.2449289>
- Campbell, T., Oh, P. S., Maughn, M., Kiriazis, N., & Zuwallack, R. (2015). A Review of Modeling Pedagogies: Pedagogical Functions, Discursive Acts, and Technology in Modeling Instruction. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(1), 159–176. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1314a>
- Cañero-Arias, J., Blanco-López, A., & Oliva, J. (2024). Model-based analysis of the impact of a teaching-learning sequence about carbonated drinks on students' understanding of the dissolution of gases in liquids. *International journal of science education*, 46(17), 1848–1878. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2300772>

- Chan, K. K. H., Lau, D. S. P., & Van Driel, J. (2025). Different Designs, Different Outcomes? A Critical Systematic Review of Interventions for Preparing Preservice Science Teachers to Teach Scientific Models and Modeling. *Science Education*, 109(2), 386–428. <https://doi.org/10.1002/sce.21911>
- Chang, H., Liu, C., Wen, C., Chang, M., Chiang, S., & Hwang, F. (2024). The effect of the cyclic curricular design of modelling-based instruction with virtual labs. *International journal of science education*, 46(1), 46–72. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2219365>
- Chiu, M.-H., & Lin, J.-W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 12–12. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0012-y>
- Constantinou, C. P., Nicolaou, C. Th., & Papaevripidou, M. (2019). A Framework for Modeling-Based Learning, Teaching, and Assessment. In A. Upmeyer zu Belzen, D. Krüger, & J. van Driel (Eds.), *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (pp. 39–58). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_3
- Crawford, B., & Cullin, M. (2005). Dynamic assessments of preservice teachers' knowledge of models and modelling. In *Research and the Quality of Science Education*. https://doi.org/10.1007/1-4020-3673-6_25
- Cruz-Guzmán, M., García-Carmona, A., & Criado, A. M. (2020). Analysis of the models proposed by prospective pre-primary teachers when studying water. *International Journal of Science Education*, 42(17), 2876–2897. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1841327>
- Cruz-Guzmán, M., García-Carmona, A., & Criado, A. M. (2023). “Teach Your Classmates About the Behavior of Water with School-Level Science Models”: An Experience in Initial Preschool Teacher Education. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 23(2), 262–281. <https://doi.org/10.1007/s42330-023-00283-0>
- Damelin, D., S. Krajcik, J., McIntyre, C., & Bielik, T. (2017). Integrating Technology: Students Making System Models. *Science Scope*, 40(5), 78–83. https://doi.org/10.2505/4/ss17_040_05_78
- De Alba Villaseñor, V., & Ramos de Robles, S. L. (2020). Modelización científica escolar para explorar el sistema circulatorio en Educación Infantil. *Enseñanza de Las Ciencias*, 38(1), 105–125.
- DiSessa, A. A., Abelson, H., & Ploger, D. (1991). An Overview of Boxer. *Journal of Mathematical Behavior*, 10, 3–15.
- Domènech-Casal, J. (2020). Diseñando un simulador de ecosistemas. Una experiencia STEM de enseñanza de dinámica de los ecosistemas, funciones matemáticas y programación. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 17(3), 3202. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3202
- Dori, Y. J., & Kaberman, Z. (2012). Assessing high school chemistry students' modeling sub-skills in a computerized molecular modeling learning environment. *Instructional Science*, 40(1), 69–91.

- Durak, B., & Topcu, M. (2023). Integrating socioscientific issues and model-based learning to decide on a local issue: The white butterfly unit. *Science activities-projects and curriculum ideas in stem classrooms*, 60(2), 90–105. <https://doi.org/10.1080/00368121.2023.2179967>
- Durak, B., & Topçu, M. (2025). Exploring Teachers' Professional Development on Socioscientific Issues and Model-Based Learning: A Multiple Case Study. *Science & education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-025-00628-1>
- Engelschalt, P., Bielik, T., Krell, M., Krüger, D., & zu Belzen, A. U. (2024). Investigating pre-service science teachers' metaknowledge about the modelling process and its relation to metaknowledge about models. *International Journal of Science Education*, 46(7), 691–714. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2253368>
- Enyedy, N., Danish, J. A., Delacruz, G., & Kumar, M. (2012). Learning physics through play in an augmented reality environment. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 7(3), 347–378. <https://doi.org/10.1007/s11412-012-9150-3>
- Ergazaki, M., Zogza, V., & Komis, V. (2007). Analysing students' shared activity while modeling a biological process in a computer-supported educational environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), 158–168.
- Erumit, B., & Yuksel, T. (2023). Developing and Using Physical Dynamic Models On Socioscientific Issues to Present Nature Of Science Ideas. *International journal of science and mathematics education*, 21(4), 1031–1056. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10296-0>
- Everett, S. A., Otto, C. A., & Luera, G. R. (2009). Preservice elementary teachers' growth in knowledge of models in a science capstone course. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(6), 1201–1225. <https://doi.org/10.1007/s10763-009-9158-y>
- García-Rodeja, I., Rodríguez Rouco, E. V., Lorenzo Flores, M., & Sesto Varela, V. (2023). Construyendo modelos precursores sobre la flotabilidad de objetos macizos a los seis años. *Enseñanza de Las Ciencias*, 41(2), 137–154.
- Garrido, A., & Couso, D. (2025). The IPM cycle: An instructional tool for promoting students' engagement in modeling practices and construction of models. *Journal of Research in Science Teaching*, 62(2), 391–425. <https://doi.org/10.1002/tea.21979>
- Geçgil, T., & Akçay, H. (2024). Investigating the Effects of Different Model Based Inquiries on Students' Science Achievement, Scientific Process Skills and Motivation. *International journal of education in mathematics science and technology*, 12(3). <https://doi.org/10.46328/ijemst.3997>
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). The Contribution of Visualisation to Modelling-Based Teaching. In *Models and Modeling in Science Education Modelling-based Teaching in Science Education* (9th ed., pp. 121–148). Springer International Publishing Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3_7
- Gobert, J. D. (2000). A typology of causal models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. *International Journal of Science Education*, 22, 937–977.

- Göhner, M. F., Bielik, T., & Krell, M. (2022). Investigating the dimensions of modeling competence among preservice science teachers: Meta-modeling knowledge, modeling practice, and modeling product. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(8), 1354–1387. <https://doi.org/10.1002/tea.21759>
- Gouvea, J., & Passmore, C. (2017). ‘Models of’ versus ‘Models for.’ *Science & Education*, 26(1), 49–63. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9884-4>
- Grimalt-Álvaro, C., Ortega Torres, E., Couso Lagarón, D., & Paloma Romeu, L. (2021). Influencia en la autoeficacia del grado de autenticidad de la indagación de dos proyectos de ciencia de secundaria: Estudio de caso. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 18(2), 2101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.2101
- Guimarães Siles, C., & Peticarrari, A. (2025). El uso de modelos en la enseñanza investigativa para promover la participación activa de los alumnos de la educación primaria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 23(1), 1102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2026.v23.i1.1102
- Han, M., & Uhm, J. (2024). Enhancing Students’ Emotional, Epistemic, and Conceptual Aspects in Scientific Practice through Computational Modeling on a Food Web. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 22(S1), 145–165. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10509-8>
- Hansen, J. A., Barnett, M., MaKinster, J. G., & Keating, T. (2004). The impact of three-dimensional computational modeling on student understanding of astronomical concepts: A quantitative analysis. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1365–1378. <https://doi.org/10.1080/09500690420001673757>
- Jia, S., & Ren, S. (2025). The Significance of Science Content Knowledge for Socioscientific Reasoning Competency: Evidence from SSI Instruction on Environmental Topics Based on the SIMBL Model. *Science & education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-025-00645-0>
- Jimenez-Liso, M., Bellocchi, A., Martinez-Chico, M., & Lopez-Gay, R. (2022). A Model-Based Inquiry Sequence as a Heuristic to Evaluate Students’ Emotional, Behavioural, and Cognitive Engagement. *Research in science education*, 52(4), 1313–1334. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10010-0>
- Jiménez-Liso, M. R., Delgado, L., Castillo-Hernández, F. J., & Baños-González, I. (2021). Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria. *Enseñanza de Las Ciencias*, 39(1), 5–25.
- Jin, D., & Jian, M. (2024). Research hotspots and development trends of model and modelling education research: Bibliometric analysis based on CiteSpace. *Heliyon*, 10(11), e32590. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32590>
- Jordan, R., Gray, S., Boyse-Peacor, A., Sorensen, A., Frantz, C., Jauernig, J., Brehm, P., Shammin, M., & Petersen, J. (2023). Promoting systems thinking through perspective taking when using an online modeling tool. *Frontiers in education*, 8. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1215436>

- Khan, S. (2025). Reasoning in chemistry teacher education. *Chemistry teacher international*, 7(2), 345–357. <https://doi.org/10.1515/cti-2024-0099>
- Lacy, S., Tobin, R., Crissman, S., DeWater, L., Gray, K., Haddad, N., Hammerman, J., & Seeley, L. (2022). Telling the energy story: Design and results of a new curriculum for energy in upper elementary school. *SCIENCE EDUCATION*, 106(1), 27–56. <https://doi.org/10.1002/sce.21684>
- Langbeheim, E., & Bielik, T. (2025). Student engagement in constructing computer models in K-12 science education: A systematic review. *Studies in Science Education*, 1–28. <https://doi.org/10.1080/03057267.2025.2576997>
- Lin, C., & Wu, H. (2021). Effects of different ways of using visualizations on high school students' electrochemistry conceptual understanding and motivation towards chemistry learning. *Chemistry education research and practice*, 22(3), 786–801. <https://doi.org/10.1039/d0rp00308e>
- Lindgren, S., Morris, K., & Price, A. (2021). Designing environmental storylines to achieve the complementary aims of environmental and science education through science and engineering practices. *Journal of environmental education*, 52(4), 239–255. <https://doi.org/10.1080/00958964.2021.1949569>
- Liu, S. (2021). Using drawings to examine undergraduate students' mental models of the greenhouse effect: A factor analysis approach. *International journal of science education*, 43(18), 2996–3017. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2004466>
- Lobner, K., Voitle, F., Ziernwald, L., Bielik, T., & Krell, M. (submitted). Definitions and Frameworks of Modeling Competence in Science Education Research – A Scoping Review.
- Löhner, S., van Hout-Wolters, B., van Joolingen, W., & Savelsbergh, E. R. (2005). Computer based modeling tasks: The role of external representation [Graphic]. In *Society and behavioral sciences* (Issue Chapter 13, pp. 243–263). University of Amsterdam. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-4366-3_13/fulltext.html
- Löhner, S., van Joolingen, W., & Savelsbergh, E. R. (2003). The Effect of External Representation on Constructing Computer Models of Complex Phenomena. *Instructional Science*, 31, 395–418.
- Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based Learning in Science Education: Cognitive, Metacognitive, Social, Material and Epistemological Contributions. *Educational Review*, 64(4), 471–492. <https://doi.org/10.1080/00131911.2011.628748>
- Louca, L. T., Zacharia, Z. C., & Constantinou, C. P. (2011). In Quest of productive modeling-based learning discourse in elementary school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(8), 919–951.
- Lucas, L., Helikar, T., & Dauer, J. (2022). Revision as an essential step in modeling to support predicting, observing, and explaining cellular respiration system dynamics. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION*, 44(13), 2152–2179. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2114815>

- Magana, A., Arigye, J., Udosen, A., Lyon, J., Joshi, P., & Pienaar, E. (2024). Scaffolded team-based computational modeling and simulation projects for promoting representational competence and regulatory skills. *International journal of stem education*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00494-3>
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-based Teaching. *International Journal of Science Education*, 31, 603–630. <https://doi.org/10.1080/09500690802538045>
- Margolin, J., Pinerua, I., & Gerdeman, D. (2022). Modeling in Science Education: A Synthesis of Recent Discovery Research PreK-12 Projects. *American Institutes for Research*. <https://par.nsf.gov/biblio/10358422-modeling-science-education-synthesis-recent-discovery-research-prek-projects>
- Muñoz Campos, V., Franco-Mariscal, A. J., & Blanco-López, Á. (2020). Integración de prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización en un contexto de la vida diaria. Valoraciones de estudiantes de secundaria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 17(3), 3201. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3201
- Nelson, M. M., & Davis, E. A. (2012). Preservice Elementary Teachers' Evaluations of Elementary Students' Scientific Models: An aspect of pedagogical content knowledge for scientific modeling. *International Journal of Science Education*, 34(12), 1931–1959. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.594103>
- Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014a). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52–73.
- Nicolaou, Chr. Th., & Constantinou, C. P. (2014b). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52–73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Ogborn, J., & Wong, D. (1984). A microcomputer dynamical modelling system. *Physics Education*, 19, 138–142.
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Oliva, J. M., Aragón Méndez, M. M., Soto Mancera, F., Vicente Martorell, J. J., Matos Delgado, J., Marín Barrios, R., & Franco-Mariscal, R. (2021). ¿Varía la masa de la Tierra? Modelizando a partir de un experimento mental. *Enseñanza de Las Ciencias*, 39(2), 25–43.
- Papaevripidou, M., Constantinou, C. P., & Zacharia, Z. C. (2007). Modeling complex marine ecosystems: An investigation of two teaching approaches with fifth graders. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), 145–157.
- Papert, S. (1980). "Mindstorms"Children. *Computers and Powerful Ideas*. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10003835700/en/>

- Paz Otero, A., & Puig, B. (2020). Una secuencia para promover la alfabetización geocientífica y educación patrimonial en secundaria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 17(2), 2202. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i2.2202
- Pedrerá, O., Barrutia, O., & Díez, J. (2025). Effectiveness of a model-based inquiry instructional sequence in overcoming students' teaching-learning difficulties on plant nutrition. *International journal of science education*, 47(6), 794–816. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2350705>
- Peleg, R., Lahav, O., Hagab, N., Talis, V., & Levy, S. (2024). Listening to or looking at models: Learning about dynamic complex systems in science among learners who are blind and learners who are sighted. *Journal of computer assisted learning*, 40(2), 452–464. <https://doi.org/10.1111/jcal.12886>
- Peretz, R., Tal, M., Akiri, E., Dori, D., & Dori, Y. (2023). Fostering engineering and science students' and teachers' systems thinking and conceptual modeling skills. *Instructional science*, 51(3), 509–543. <https://doi.org/10.1007/s11251-023-09625-9>
- Pierson, A. E., & Brady, C. E. (2020). Expanding Opportunities for Systems Thinking, Conceptual Learning, and Participation through Embodied and Computational Modeling. *Systems*, 8(4), 48. <https://doi.org/10.3390/systems8040048>
- Pluta, W. J., Chinn, C. A., & Duncan, R. G. (2011). Learners' epistemic criteria for good scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(5), 486–511. <https://doi.org/10.1002/tea.20415>
- Prasad, P., & Iyer, S. (2022). VeriSIM: A model-based learning pedagogy for fostering software design evaluation skills in computer science undergraduates. *Research and practice in technology enhanced learning*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s41039-022-00192-0>
- Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., Millner, A., Rosenbaum, E., Silver, J., Silverman, B., & Kafai, Y. (2009). Scratch: Programming for all. *Commun. ACM*, 52(11), 60–67. <https://doi.org/10.1145/1592761.1592779>
- Rodríguez Mora, F., & Blanco López, Á. (2020). Diseño de una secuencia de enseñanza-aprendizaje para el desarrollo de competencias científicas en el contexto del consumo de agua envasada. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 18(1), 1803. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1803
- Samarapungavan, A., Bryan, L., Staudt, C., Sapkota, B., Pinto, H., Broadhead, J., & Kimball, N. (2023). Using technology-mediated inquiry to help young learners reimagine the visible world through simple particle models. *Journal of research in science teaching*, 60(2), 390–422. <https://doi.org/10.1002/tea.21802>
- Schwarz, C. V., Ke, L., Salgado, M., & Manz, E. (2022). Beyond assessing knowledge about models and modeling: Moving toward expansive, meaningful, and equitable modeling practice. *Journal of Research in Science Teaching*. <https://doi.org/10.1002/tea.21770>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making

- scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165–205.
- Sins, Patrick. H. M., Savelsbergh, E. R. E. R., van Joolingen, W. W. R., & van Hout-Wolters, B. H. A. M. B. H. A. M. (2009). The Relation between Students' Epistemological Understanding of Computer Models and Their Cognitive Processing on a Modelling Task. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1205–1229. <https://doi.org/10.1080/09500690802192181>
- Stratford, S. J., Krajcik, J., & Soloway, E. (1998). Secondary Students' Dynamic Modeling Processes: Analyzing, Reasoning About, Synthesizing, and Testing Models of Stream Ecosystems. *Journal of Science Education and Technology*, 7(3), 215–234.
- Tang, X., Shu, G., Wei, B., & Levin, D. (2024). Emergent learning about measurement and uncertainty in an inquiry context: A case from an elementary classroom. *Science education*, 108(1), 308–331. <https://doi.org/10.1002/sce.21837>
- Torres, J., & Vasconcelos, C. (2016). Models in Geoscience Classes: How Can Teachers Use Them? In C. Vasconcelos (Ed.), *Geoscience Education: Indoor and Outdoor* (pp. 25–41). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43319-6_2
- Torres, J., & Vasconcelos, C. (2021). Models and the Nature of Science: What Mediates Their Implementation in Portuguese Biology and Geology Classes? *Education Sciences*, 11(11), 688. <https://doi.org/10.3390/educsci11110688>
- Upmeier Zu Belzen, A., Van Driel, J., & Krüger, D. (2019). Introducing a Framework for Modeling Competence. In A. Upmeier Zu Belzen, D. Krüger, & J. Van Driel (Eds.), *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (Vol. 12, pp. 3–19). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_1
- Valanides, N., & Angeli, C. (2008). Professional development for computer-enhanced learning: A case study with science teachers. *Research in Science & Technological Education*, 26(1), 3–12. <https://doi.org/10.1080/02635140701847397>
- van Borkulo, S. P., van Joolingen, W. R., Savelsbergh, E. R., & de Jong, T. (2012). What can be learned from computer modeling? Comparing expository and modeling approaches to teaching dynamic systems behavior. *Journal of Science Education and Technology*, 21, 267–275.
- Vasconcelos, L., & Kim, C. (2022). Preservice science teachers coding science simulations: Epistemological understanding, coding skills, and lesson design. *Educational technology research and development*, 70(4), 1517–1549. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10119-7>
- Wilensky, U., & Reisman, K. (2006). Thinking Like a Wolf, a Sheep, or a Firefly: Learning Biology Through Constructing and Testing Computational Theories—An Embodied Modeling Approach. *Cognition and Instruction*, 24(2), 171–209.

-
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>
- Zhai, X., & Yin, Y. (2024). Using educative learning progression to support novice science teachers' lesson plan critiques. *International journal of science education*, 46(13), 1281–1310. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2285259>
- Zhang, B., Liu, X., & Krajcik, J. S. (2006). Expert Models and Modeling Processes Associated with a Computer-Modeling Tool. *Science Education*, 90(4), 579–604.

Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the National Agency. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

This work is licensed under CC BY-NC 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

