
TREBALL FINAL DE MÀSTER

**Màster Oficial Interuniversitari en Tecnologia
Educativa: e-Learning i Gestió del Coneixement**

**Disseny i desenvolupament d'una eina per
automatitzar les memòries digitals de les
pràctiques de laboratori**

**Diseño y desarrollo de una herramienta para
automatizar las memorias digitales de las
prácticas de laboratorio**

Jorge Gavalda Bernal

Tutora: Dra. Vanessa Esteve González

7 de setembre de 2023

Resum

L'alfabetització científica és clau pel desenvolupament de la societat del segle XXI i s'ha de començar a treballar des de les escoles. Governos i institucions han de vetllar per tal que l'alumnat pugui assolir les competències i les habilitats associades a l'àmbit científicotecnològic en edat d'escolarització. Un dels millors recursos que disposa el professorat per fomentar aquesta alfabetització científica és mitjançant l'experimentació, per exemple amb l'estratègia de la indagació científica i l'aplicació del mètode científic en tots els seus passos. No obstant, la gestió de recursos i de temps de la sessions pràctiques de laboratori, moltes vegades no és l'òptima.

Aquest treball final de màster presenta una investigació basada en el disseny per intentar minimitzar aquesta problemàtica. L'objectiu és dissenyar, desenvolupar, implementar i avaluar una tecnologia digital (TD) capaç de generar, automàticament, una memòria de les pràctiques del laboratori de ciències.

Aquesta investigació basada en el disseny inclou diferents fases abans d'arribar a la implementació del prototip de memòria automatitzada. En primer lloc es fa una revisió sistemàtica per conèixer, a nivell internacional, quines TD s'utilitzen als laboratoris de les escoles per treballar la fase de redactat de la memòria o informe de pràctiques. També es fa una enquesta local per saber si aquestes TD s'apliquen a Catalunya i com es fa. A continuació s'estableix un criteri de selecció basat en la funcionalitat tecnològica i pedagògica per determinar quina TD escau millor pel disseny del prototip de memòria automatitzada. S'apliquen cicles iteratius per desenvolupar una TD basada en el programa S-Math Studio com element principal de la memòria i l'Excel com a plataforma de control i gestió de dades entre l'S-Math Studio i la placa Arduino UNO. Finalment, el prototip es prova en una sessió STEM amb alumnes de 2n d'ESO per experimentar amb la conductivitat elèctrica de l'aigua. L'enquesta final que respon l'alumnat i el professorat mostra que el disseny implementat ha complert amb les expectatives de funcionalitat tecnològica i pedagògica.

Paraules clau: investigació basada en el disseny, memòria de laboratori, alfabetització científica, Arduino, S-Math Studio

Resumen

La alfabetización científica es clave para el desarrollo de la sociedad del siglo XXI y debe empezar a trabajarse desde las escuelas. Gobiernos e instituciones deben velar por que el alumnado pueda alcanzar las competencias y las habilidades asociadas al ámbito científico-tecnológico en edad de escolarización. Uno de los mejores recursos que dispone el profesorado para fomentar esta alfabetización científica es mediante la experimentación, por ejemplo, con la estrategia de la indagación científica y la aplicación del método científico en todos sus pasos. Sin embargo, la gestión de recursos y de tiempo de las sesiones prácticas de laboratorio, muchas veces no es la óptima.

Este trabajo final de master presenta una investigación basada en el diseño para intentar minimizar esta problemática. El objetivo es diseñar, desarrollar, implementar y evaluar una tecnología digital (TD) capaz de generar automáticamente una memoria de las prácticas del laboratorio de ciencias.

Esta investigación basada en el diseño incluye distintas fases antes de llegar a la implementación del prototipo de memoria automatizada. En primer lugar, se hace una revisión sistemática para conocer, a nivel internacional, qué TD se utilizan en los laboratorios de las escuelas para trabajar la fase de redactado de la memoria o informe de prácticas. También se realiza una encuesta local para saber si estas TD se aplican en Cataluña y cómo se hace. A continuación, se establece un criterio de selección basado en la funcionalidad tecnológica y pedagógica para determinar qué TD es mejor para el diseño del prototipo de memoria automatizada. Se aplican ciclos iterativos para desarrollar una TD basada en el programa S-Math Studio como elemento principal de la memoria y Excel como plataforma de control y gestión de datos entre S-Math Studio y la placa Arduino UNO. Por último, el prototipo se prueba en una sesión STEM con alumnos de 2º de ESO para experimentar con la conductividad eléctrica del agua. La encuesta final que responde el alumnado y el profesorado muestra que el diseño implementado ha cumplido con las expectativas de funcionalidad tecnológica y pedagógica.

Palabras clave: investigación basada en el diseño, memoria de laboratorio, alfabetización científica, Arduino, S-Math Studio

Abstract

Scientific literacy is key to the development of society in the 21st century and work must start from schools. Governments and institutions must ensure that students can achieve the skills and abilities associated with the scientific and technological field at school age. One of the best resources available to teachers to promote this scientific literacy is through experimentation, for example with the strategy of scientific inquiry and the application of the scientific method in all its steps. However, the management of resources and time of the practical laboratory sessions is often not optimal.

This master's degree final project presents a design-based research to try to minimize this problem. The objective is to design, develop, implement and evaluate a digital technology capable of generating, automatically, a report of the practices of the science laboratory.

This design-based research includes different phases before arriving at the implementation of the automated memory prototype. First of all, a systematic review is carried out to find out, at an international level, which digital technologies are used in school laboratories to work on the writing phase of the internship report. A local survey is also carried out to find out if these digital technologies are applied in Catalonia and how it is done. Then, a selection criterion is established based on technological and pedagogical functionality to determine which digital technology is best suited for the design of the automated memory prototype. Iterative cycles are applied to develop a digital technology based on the S-Math Studio program as the main element for the report and Excel as the control and data management platform between S-Math Studio and the Arduino UNO board. Finally, the prototype is tested in a STEM session with 2nd year of secondary school students to experiment with the electrical conductivity of water. The final survey answered by the students and the teachers involved shows that the implemented design has met the expectations of technological and pedagogical functionality.

Keywords: research based on design, laboratory report, scientific literacy, Arduino, S-Math Studio

Agraïments

A la Dra. Vanessa Esteve González, pel seu acompanyament i suport durant el procés de tutorització d'aquest treball final de màster.

A la Dra. Cristina Valls Bautista, per regalar-me un exemplar del seu llibre i l'interès mostrat en la meva investigació.

Al professorat del Màster interuniversitari en tecnologia educativa: e-learning i gestió del coneixement, per la formació i compartició de coneixements.

A l'equip directiu de la Salle Tarragona per les facilitats que m'han donat per implementar aquest treball al centre educatiu.

Abreviacions / Acrònims

LOMLOE – *Ley Orgánica de Modificación de la Ley Orgánica de Educación*

OECD – *Organisation for Economic Cooperation and Development*

ONU – Organització de les Nacions Unides

PISA – *Programme for International Student Assessment*

STEM – *Science Technology Engineering and Mathematics*

TD – Tecnologia digital

Índex de continguts

1. INTRODUCCIÓ	11
1.1 Presentació.....	11
1.2 Estructura del treball.....	12
2. MARC TEÒRIC	14
2.1 La importància de l'alfabetització científica.....	14
2.2 La ciència al nou currículum educatiu de Catalunya.....	19
2.3 El mètode científic.....	20
2.4 Indagació científica i experimentació a l'escola.....	22
2.5 Educació de qualitat.....	25
2.6 Les tecnologies digitals als laboratoris dels centres educatius.....	26
2.6.1 <i>Ofimàtica</i>	26
2.6.2 <i>Aplicacions mòbils</i>	27
2.6.3 <i>Simuladors</i>	28
2.6.4 <i>Laboratoris remots i virtuals</i>	29
2.6.5 <i>Programari avançat</i>	30
2.6.6 <i>Robòtica</i>	31
3. MARC METODOLÒGIC	32
3.1 Problema de recerca	32
3.2 Objectius de recerca.....	32
3.3 Preguntes de recerca	33
3.4 Aproximació metodològica	34
3.5 Disseny de la recerca.....	37
3.6 Context i participants.....	38
3.6.1 <i>Context de l'estudi</i>	38
3.6.2 <i>Participants</i>	39
3.7 Instruments i tècniques de recollida de dades	40
3.7.1 <i>Recerca preliminar: la revisió sistemàtica</i>	42
3.7.2 <i>Enquesta inicial a centres educatius</i>	42
3.7.3 <i>Validació de l'enquesta inicial als centres educatius</i>	43
3.7.4 <i>Població i mostra de l'enquesta al professorat de ciències</i>	44
3.7.5 <i>Enquesta d'implementació a l'aula del prototip 2</i>	44
3.7.6 <i>Validació de l'enquesta del prototip 2</i>	45
3.8 Anàlisi de dades.....	45
4. RESULTATS	46
4.1 Fase 1: recerca preliminar	46

4.1.1 Revisió sistemàtica de la literatura	46
4.1.2 Anàlisi de l'enquesta als centres educatius i proposta del disseny	52
4.2 Fase 2: prototipatge	56
4.2.1 Recerca de TD pel prototip 1	56
4.2.2 Criteris de funcionalitat	57
4.2.3 Selecció inicial per criteris de funcionalitat	58
4.2.4 Selecció final de la TD	59
4.2.5 Disseny i validació del prototip 1	61
4.3 Fase 3: disseny del prototip 2	62
4.3.1 Objectius de la pràctica STEM i base del prototip 2	62
4.3.2 Disseny del prototip 2	62
4.3.3 Validació prèvia a la implementació del prototip 2	65
4.3.4 Consideracions per la implementació del prototip 2	66
4.3.5 Sessió pràctica d'implementació amb el prototip 2	66
4.4 Fase 4: avaluació del prototip 2	68
5. DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS	72
6. LIMITACIONS I PERSPECTIVES DE FUTUR.....	75
7. REFERÈNCIES	77
Annex I. Validació enquesta dels centres educatius	83
Annex II. Missatge a centres educatius	89
Annex III. Validació enquesta del prototip 2	90
Annex IV. Referències dels articles de la revisió sistemàtica.....	97
Annex V. Resum de les respostes a l'enquesta dels centres educatius.....	99
Annex VI. Resum de les respostes de l'enquesta a l'alumnat	99
Annex VII. Resposta del professor sobre la implementació del prototip 2.....	101
Annex VIII. Codi Arduino per la pràctica.....	102
Annex IX. Programació Excel.....	104
Annex X. Programació de la memòria amb S-Math Studio.....	105

Índex de taules

Taula 1. Relació de preguntes d'investigació amb els objectius específics.	33
Taula 2. Resum de les activitats principals i relació d'objectius específics que intervenen a cada fase de la investigació.	37
Taula 3. Relació de preguntes d'investigació amb els objectius i els instruments de recollida de dades per a cada fase de la investigació.	41
Taula 4. Criteris d'exclusió i inclusió utilitzats en la revisió sistemàtica.	47
Taula 5. Resum dels articles seleccionats a la revisió sistemàtica.	49
Taula 6. Comparativa entre les diferents opcions de programari per generar la memòria digital.	57
Taula 7. Relació d'accions per provar el funcionament de la comunicació amb el prototip 1..	61
Taula 8. Diferències entre el model tradicional i el nou disseny de pràctica amb la TD i el prototip 2 de memòria.	66
Taula 9. Valors estadístics dels paràmetres referents a les respostes dels alumnes per les cinc variables de l'enquesta.	69
Taula 10. Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació matèria.	83
Taula 11. Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació matèria	83
Taula 12. Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació curs 83	83
Taula 13. Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació curs	84
Taula 14. Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació temporització.....	84
Taula 15. Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació temporització	84
Taula 16. Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació tecnologies.....	85
Taula 17. Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació tecnologies	85
Taula 18. Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació fases.....	85
Taula 19. Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació fases... 86	86
Taula 20. Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació format memòria ...	86
Taula 21. Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació format memòria	86
Taula 22. Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació prioritats 87	87
Taula 23. Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació prioritats	87
Taula 24. Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació innovació 87	87
Taula 25. Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació innovació	88
Taula 26. Validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació integració	90
Taula 27. Comentaris validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació integració	90
Taula 28. Validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació adaptació.....	90
Taula 29. Comentaris validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació adaptació	91
Taula 30. Validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació càlculs.....	91

Taula 31. Comentaris validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació càlculs	91
Taula 32. Validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació usabilitat.....	92
Taula 33. Comentaris validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació usabilitat	92
Taula 34. Validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació temps	92
Taula 35. Comentaris validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació temps.....	93
Taula 36. Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació integració.....	93
Taula 37. Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació integració	93
Taula 38. Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació adaptació.....	94
Taula 39. Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació adaptació.....	94
Taula 40. Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació càlculs	94
Taula 41. Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació càlculs.....	94
Taula 42. Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació usabilitat	95
Taula 43. Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació usabilitat.....	95
Taula 44. Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació temps.....	95
Taula 45. Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació temps	96
Taula 46. Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació observacions.....	96
Taula 47. Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació observacions	96
Taula 48. Freqüència i percentatge de la variable d'investigació integració, en les respostes de l'alumnat participant en la implementació del prototip 2.....	99
Taula 49. Freqüència i percentatge de la variable d'investigació adaptació, en les respostes de l'alumnat participant en la implementació del prototip 2.....	99
Taula 50. Freqüència i percentatge de la variable d'investigació càlculs, en les respostes de l'alumnat participant en la implementació del prototip 2.....	100
Taula 51. Freqüència i percentatge de la variable d'investigació usabilitat, en les respostes de l'alumnat participant en la implementació del prototip 2.....	100
Taula 52. Freqüència i percentatge de la variable d'investigació temps, en les respostes de l'alumnat participant en la implementació del prototip 2.....	100

Índex de figures

Figura 1 Figura d'exemple de taula amb l'escala de valors competencials a l'àmbit de les ciències per les proves PISA.	15
Figura 2. Resultats PISA per països del nivell competencial en l'àmbit de les ciències referenciat al nivell 2.....	16
Figura 3. Puntuació mitjana de competències bàsiques entre els anys 2012 i 2022.	17
Figura 4. Resultats de les puntuacions mitjanes en la competència científicotecnològica en funció de les matèries optatives cursades.....	18
Figura 5. Figura d'exemple de taula amb la relació de fases a la indagació científica.	23
Figura 6. Com la investigació millora la pràctica.....	35
Figura 7. Seqüència de la investigació basada en el disseny.	35
Figura 8. Seqüència adaptada de la investigació basada en el disseny.	35
Figura 9. Diagrama de flux de la investigació basada en el disseny per aquest TFM.	36
Figura 10. Figura d'exemple de taula on s'especifica les fases, criteris i una descripció per una investigació basada en el disseny.....	38
Figura 11. Temporització de les diferents fases de la investigació basada en el disseny que s'aplica en aquest TFM.....	38
Figura 12. Diagrama de flux de la revisió sistemàtica.....	48
Figura 13. Distribució de categories i subcategories per l'anàlisi qualitatiu amb el programa Maxqda.....	53
Figura 14. Mapa de co-ocurrència per proximitat obtingut a l'anàlisi qualitatiu amb el programa Maxqda.....	55
Figura 15. Exemple de sensor construït per l'alumnat de 2n d'ESO.....	63
Figura 16. Barra d'eines del complement Data Streamer.....	63
Figura 17. Entorn de treball amb l'Excel creat per la recollida de dades i la interacció amb la placa Arduino UNO.....	64
Figura 18. Exemple de pregunta, inclosa a la memòria, generada amb un element desplegable Combo Box List.....	65
Figura 19. Dades reals exportades de l'Excel en format de taula i càlcul automàtic de la resistència elèctrica de la mostra 1.....	65
Figura 20. Alumnes de 2n d'ESO fent l'experiment de la conductivitat de l'aigua amb el prototip 2.	67
Figura 21. Alumnes de 2n d'ESO calculant els valors de la tensió mitjana de les mostres.....	67
Figura 22. Diagrames de caixa representatius de les variable integració, adaptació, càlculs, usabilitat i temps, a partir dels resultats de l'enquesta a l'alumnat.....	70
Figura 23.	102
Figura 24. Programació en VBA per les macros de l'Excel	104
Figura 25. Opcions pels elements desplegables	105
Figura 26. Programació per importar dades de l'Excel i calcular els resultats de la mostra 1.	105
Figura 27. Programació per dibuixar la gràfica final amb els càlculs de l'alumnat	105

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Presentació

Des dels primers anys que vaig començar a impartir robòtica educativa, la dinàmica de les classes han canviat força. Els primers anys es feien simples activitats destinades a millorar el pensament computacional. Posteriorment, es van anar incorporant nous reptes i contextos de diferents àmbits fins a convertir les activitats de robòtica en projectes STEM.

No obstant això, tot i els canvis en la metodologia de treball, hi ha alguns aspectes que han canviat poc. Molts d'aquests projectes STEM s'han enfocat com experiments que segueixen el mètode científic i que es recolzen en l'ús d'elements de robòtica o altres tecnologies digitals (TD). Ara bé, els valors obtinguts (mesures de magnituds físiques/químiques o càlculs derivats d'aquestes) només es mostren en un monitor. En altres paraules, els resultats finals es poden visualitzar per pantalla com a valors numèrics, gràfics o fins i tot text, segons el programari que s'utilitzi. I en la majoria dels casos, ben poques vegades es fa un informe o memòria que inclogui, entre d'altres, aquestes mateixes dades i les conclusions finals de l'experiment.

La robòtica educativa, per tant, s'ha enfocat a pràctiques STEM procedimentals. Però molt poques vegades es demana a l'alumnat aplicar recursos tant importants com l'argumentació, la justificació o el raonament per escriure una conclusió de l'experiment. Així doncs, la interacció entre l'alumnat i les TD ha estat una bastida per millorar aspectes procedimentals, però no s'ha d'oblidar que la reflexió final de l'alumnat sobre la seva pràctica al laboratori, també forma part del seu aprenentatge.

Com a docent en una escola de Tarragona i com a estudiant del màster en tecnologia educativa: e-learning i gestió del coneixement, em plantejo certes preguntes inicials relacionades amb les activitats STEM al meu centre educatiu i la resta d'escoles i instituts de Catalunya. Aquestes inquietuds, per analogia, es poden traslladar a qualsevol activitat pràctica de l'àmbit científic on s'utilitzin TD.

- Quina és la situació real amb la qual es troben els docents per poder dur a terme aquestes pràctiques de laboratori i quines fases d'elles es valoren més?
- Quines TD s'han incorporat en aquestes sessions de laboratori? I Quins usos se'n fan?
- Hi ha alguna TD que faciliti, realment, algun procés de la pràctica però que alhora mantingui l'essència de la metodologia científica al laboratori i permeti gestionar totes les fases de l'activitat en una sola sessió?
- Es podria utilitzar aquesta mateixa TD en diferents pràctiques de ciències com la física, la química, l'enginyeria o fins i tot en la robòtica educativa?

Aquestes qüestions inicials són el punt de partida d'aquest TFM per investigar una problemàtica que passa per buscar una millora en la gestió les pràctiques de l'àmbit científicotecnològic, sense oblidar que s'han de mantenir tots els passos de la metodologia científica.

1.2 Estructura del treball

El present document s'ha estructurat en diferents apartats, de manera que segueixen una seqüència lògica en un treball d'investigació de l'àmbit educatiu.

El primer capítol és una introducció on es presenta, per una banda, el treball com a professor de robòtica de l'autor d'aquest TFM. En aquesta secció es mostra l'evolució que ha tingut com a docent i en disseny dels projectes educatius, però també es fa esment a alguns dubtes que es planteja en la seva tasca diària. Per altra banda, en aquesta introducció també es descriu com queda distribuït la resta del document.

Al segon capítol és el marc teòric, on s'hi destaca la importància que té l'alfabetització científica en el món contemporani i en un context educatiu. Per aquest motiu, en aquest capítol s'analitzen les millores i oportunitats de canvi que ofereix la LOMLOE des del punt de vista de la docència en l'àmbit científicotecnològic. Aquest escenari es presenta favorable a la indagació científica, una activitat que permet a l'alumnat organitzar els seus coneixements fent ús del mètode científic. També s'ha fet una recerca bibliogràfica per conèixer l'estat de l'art de com s'integren les TD a les pràctiques de laboratori que es fan als centres educatius. Per tant, es mostren alguns exemples de propostes didàctiques on l'alumnat utilitza diferents TD en algunes de les fases o passos del mètode científic i com d'efectives han estat aquestes inclusions.

El tercer capítol es correspon amb el marc metodològic propi de la investigació. En primer lloc es presenta el problema detectat a les sessions pràctiques de l'aula STEM. A continuació es plantegen els objectius i la metodologia de la investigació basada en el disseny que guiaran la resta dels apartats del TFM. És a dir, es defineix l'objectiu principal del TFM:

“Dissenyar, desenvolupar, implementar i avaluar una TD capaç de generar, automàticament, una memòria de les pràctiques del laboratori de ciències en els camps de la física, la tecnologia i/o la robòtica, per alumnes de secundària i batxillerat”.

En aquest mateix capítol es descriu el context real del centre educatiu on s'evidencia la problemàtica i la mostra participant que intervé en la investigació. També s'expliquen quins han estat els instruments i tècniques de recollida de dades per començar l'estudi: revisió sistemàtica (nivell internacional) i enquestes a docents (nivell local). Per tancar aquest tercer capítol s'explica que, per la naturalesa de les dades recollides a les enquestes, l'enfocament que es farà per l'anàlisi de resultats és el d'una metodologia mixta.

Al quart capítol s'entra de ple en l'anàlisi de resultats seguint les fases de la investigació basada en el disseny. Així doncs, en primer lloc s'analitzen els resultats de la revisió sistemàtica i de l'enquesta al professorat dels centres educatius de Catalunya. Aquest anàlisi dona peu a presentar les bases del prototip de memòria digital que es vol dissenyar. Per tant, s'expliquen quins han estat els criteris que s'han establert per triar la TD apropiada i quines proves s'han fet amb aquesta. Tot seguit, es mostra la seqüència de procés de disseny del prototip 2 i com s'ha provat amb els alumnes. Per acabar aquest capítol, s'analitzen les respostes de l'alumnat i del professorat participant a la sessió pràctica amb el prototip de memòria automatitzada.

El cinquè capítol extreu les conclusions finals del treball d'investigació a partir dels resultats obtinguts del prototip de memòria automatitzada i dels objectius plantejats inicialment.

Donada la limitació de temps que ha suposat aquesta investigació basada en el disseny, s'ha inclòs un sisè capítol on es manifesta una intencionalitat de donar continuïtat (i propostes de millora) al prototip implementat a l'aula.

Al setè capítol s'han inclòs totes les referències bibliogràfiques que s'han citat al llarg del document, així com les obtingudes a la selecció final de la revisió sistemàtica que s'ha fet.

Per acabar, s'ha distribuït en diferents annexos tot aquell material complementari que ajuda a seguir amb més detall tot el treball d'investigació i disseny del prototip. Així, per exemple, es mostren els comentaris de les validacions de les enquestes, el model del correu de presentació de l'enquesta als centres educatius, les referències bibliogràfiques resultants de la revisió sistemàtica, les gràfiques estadístiques de les respostes dels estudiants a la implementació del prototip 2 i els codis que s'han utilitzat per programar aquesta TD.

2. MARC TEÒRIC

2.1 La importància de l'alfabetització científica

El terme *ciència* es defineix com el “conjunt de coneixements obtinguts mitjançant l'observació i el raonament, sistemàticament estructurats i dels quals es dedueixen principis i lleis generals amb capacitat predictiva i comprovables experimentalment” (Real Academia Española, 2022, definició 1). Però aquesta descripció és aplicable a diferents camps com les ciències socials i humanitats o a les ciències naturals i a les ciències exactes.

En aquest TFM es vincula la ciència a les branques de la física, la biologia, les ciències naturals, les matemàtiques i l'enginyeria entre d'altres. Aquestes disciplines, imprescindibles en qualsevol currículum educatiu, sovint han estat difícils d'entendre i assimilar per l'alumnat, sobretot a les etapes d'educació obligatòria. De fet, el currículum actual de la LOMLOE estableix vuit competències clau que ha d'assolir l'alumnat al llarg de la seva etapa educativa. Aquestes competències es basen en la “Recomanació del Consell de la Unió Europea de 22 de maig de 2018 relativa a les competències clau per a l'aprenentatge permanentment” (DECRET 175/2022, 2022, p. 9). En concret, la competència clau de la LOMLOE que fa referència a aquestes disciplines de la ciència esmentades anteriorment és la tercera, on s'inclouen les matemàtiques i la ciència, tecnologia i enginyeria. Quan es desglossa aquesta tercera competència i es fa èmfasi a la ciència, l'assimilació “comporta la comprensió i explicació de l'entorn natural i social utilitzant un conjunt de coneixements i metodologies, incloses l'observació i l'experimentació, per plantejar preguntes i extreure'n conclusions basades en proves” (DECRET 175/2022, 2022, p. 37).

L'Organització de les Nacions Unides per a l'Educació, la Ciència i la Cultura (UNESCO, 1999) declara que cada país, a través dels seus governs, ha de facilitar i promoure l'alfabetització científica de la societat. Aquest manifest, que va ser signat per 155 països, pretenia marcar el camí a seguir per afrontar, a tots els nivells, els desafiaments del segle XXI en ciència i tecnologia. Però vint-i-dos anys més tard, la mateixa organització va reconèixer que quedava molt camí a fer i existia una necessitat de transformar l'educació, tot i els avenços tecnològics del nou segle (UNESCO, 2021).

Com és evident, a mesura que la societat ha avançat, el concepte d'*alfabetització científica* s'ha hagut d'adaptar al llarg dels anys. Una de les definicions més emprada ha estat la de “capacitat per utilitzar el coneixement científic, identificar preguntes i extreure conclusions basades en l'evidència per entendre i ajudar a prendre decisions sobre el món natural i els canvis que s'hi produeixen a través de l'activitat humana” (Organisation for Economic Cooperation and Development [OECD], 1999, p. 12). Aquesta definició, que va servir de referència durant anys per mesurar els resultats de les proves PISA, es va haver d'adaptar per encabir el terme de competència científica. Així doncs, l'alfabetització científica la va redefinir l'OECD (2017) com “la capacitat de comprometre's amb qüestions relacionades amb la ciència, i amb les idees de la ciència, com un ciutadà reflexiu” (p. 22).

En aquesta línia competencial també s’hi pot trobar la definició d’alfabetització científica presentada per la National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM, 2016). Aquesta institució s’hi refereix com “la comprensió dels processos i pràctiques científiques, la familiaritat amb com treballen la ciència i els científics, la capacitat de sospesar i avaluar els productes de la ciència i la capacitat de participar en decisions cíviques sobre el valor de la ciència” (p. 1).

Tal com s’ha esmentat anteriorment, l’alfabetització científica queda avaluada, per països, a través de les proves PISA. L’OECD organitza cada tres anys aquestes proves amb les quals “mesura la capacitat dels alumnes de 15 anys per utilitzar els seus coneixements i habilitats de lectura, matemàtiques i ciències per afrontar els reptes de la vida real” (OECD, s.d.).

Així doncs, els resultats a l’àmbit de les ciències segons les proves PISA s’estableixen amb una puntuació escalar. Aquest sistema, alhora, és emprat per definir quines tasques competencials seran capaços de realitzar els alumnes a cadascun dels nivells assolits. Aquesta escala de valoració s’ha establert en set nivells competencials, els quals es poden consultar a la figura 1.

Figura 1
Figura d’exemple de taula amb l’escala de valors competencials a l’àmbit de les ciències per les proves PISA.

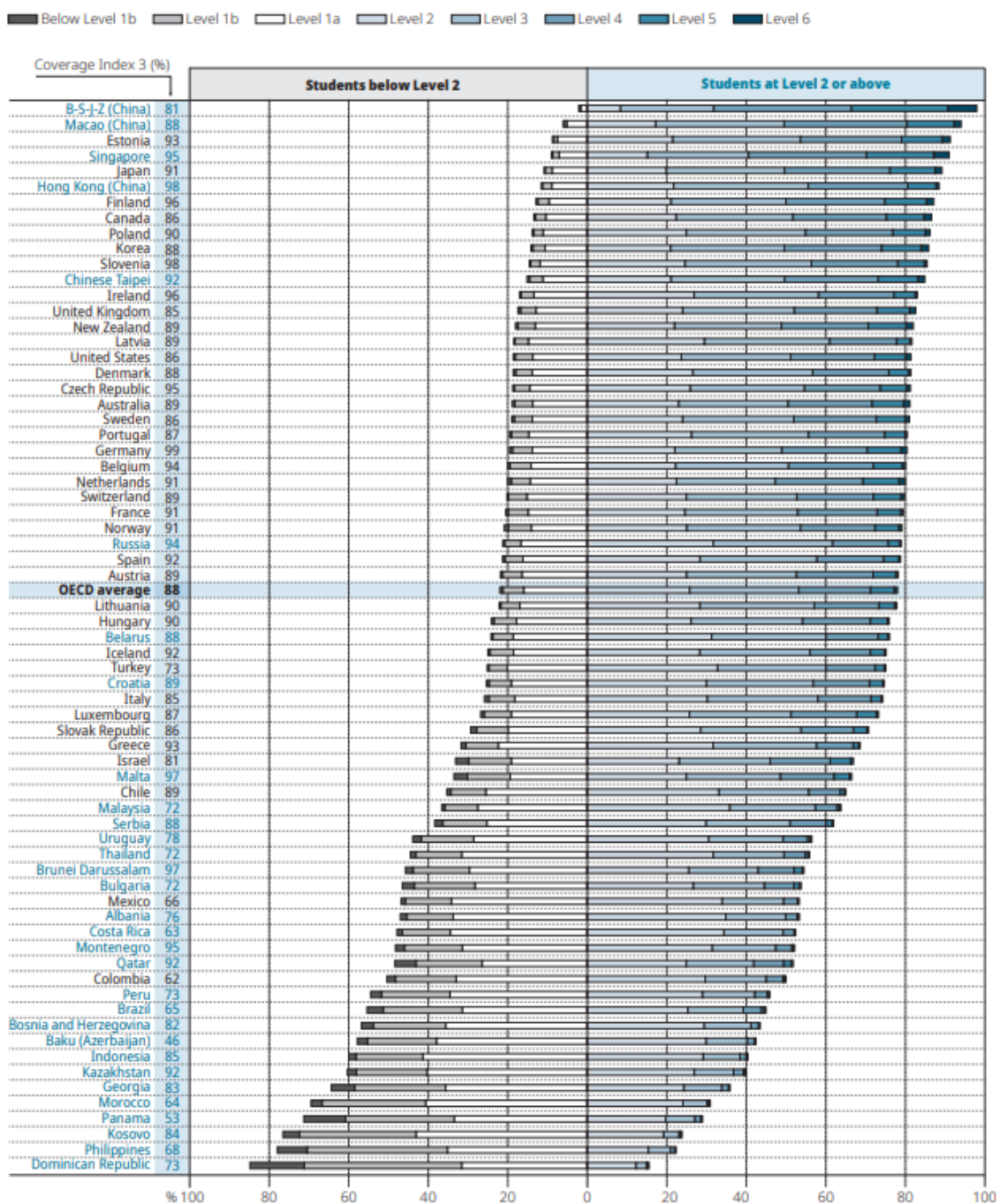
Level	Lower score limit	Percentage of students able to perform tasks at each level or above (OECD average)	Characteristics of tasks
6	708	0.8%	At Level 6, students can draw on a range of interrelated scientific ideas and concepts from the physical, life, and earth and space sciences and use content, procedural and epistemic knowledge in order to offer explanatory hypotheses of novel scientific phenomena, events and processes or to make predictions. In interpreting data and evidence, they are able to discriminate between relevant and irrelevant information and can draw on knowledge external to the normal school curriculum. They can distinguish between arguments that are based on scientific evidence and theory and those based on other considerations. Level 6 students can evaluate competing designs of complex experiments, field studies or simulations and justify their choices.
5	633	6.8%	At Level 5, students can use abstract scientific ideas or concepts to explain unfamiliar and more complex phenomena, events and processes involving multiple causal links. They are able to apply more sophisticated epistemic knowledge to evaluate alternative experimental designs and justify their choices, and use theoretical knowledge to interpret information or make predictions. Level 5 students can evaluate ways of exploring a given question scientifically and identify limitations in interpretations of data sets, including sources and the effects of uncertainty in scientific data.
4	559	24.9%	At Level 4, students can use more complex or more abstract content knowledge, which is either provided or recalled, to construct explanations of more complex or less familiar events and processes. They can conduct experiments involving two or more independent variables in a constrained context. They are able to justify an experimental design by drawing on elements of procedural and epistemic knowledge. Level 4 students can interpret data drawn from a moderately complex data set or less familiar context, draw appropriate conclusions that go beyond the data and provide justifications for their choices.
3	484	52.3%	At Level 3, students can draw upon moderately complex content knowledge to identify or construct explanations of familiar phenomena. In less familiar or more complex situations, they can construct explanations with relevant cueing or support. They can draw on elements of procedural or epistemic knowledge to carry out a simple experiment in a constrained context. Level 3 students are able to distinguish between scientific and non-scientific issues and identify the evidence supporting a scientific claim.
2	410	78.0%	At Level 2, students are able to draw on everyday content knowledge and basic procedural knowledge to identify an appropriate scientific explanation, interpret data and identify the question being addressed in a simple experimental design. They can use basic or everyday scientific knowledge to identify a valid conclusion from a simple data set. Level 2 students demonstrate basic epistemic knowledge by being able to identify questions that can be investigated scientifically.
1a	335	94.1%	At Level 1a, students are able to use basic or everyday content and procedural knowledge to recognise or identify explanations of simple scientific phenomena. With support, they can undertake structured scientific enquiries with no more than two variables. They are able to identify simple causal or correlational relationships and interpret graphical and visual data that require a low level of cognitive demand. Level 1a students can select the best scientific explanation for given data in familiar personal, local and global contexts.
1b	261	99.3%	At Level 1b, students can use basic or everyday scientific knowledge to recognise aspects of familiar or simple phenomena. They are able to identify simple patterns in data, recognise basic scientific terms and follow explicit instructions to carry out a scientific procedure.

Nota. Obtinguda d’OECD (2019, p.113)

L'OECD (2018) determina que el nivell 2 en ciències és el nivell en què “els estudiants comencen a demostrar les competències científiques que els permetran participar en un discurs raonat sobre ciència i tecnologia” (p. 72). És a dir, aquest és el punt on l'alfabetització científica ha d'estar garantida a nivell escolar per a un correcte desenvolupament de la persona en la societat actual. La figura 2 mostra els resultats (per països) de les proves PISA del 2018. En questa gràfica s'estableix, tal om s'ha dit anteriorment, el nivell 2 com a referència.

Figura 2.

Resultats PISA per països del nivell competencial en l'àmbit de les ciències referenciat al nivell 2.



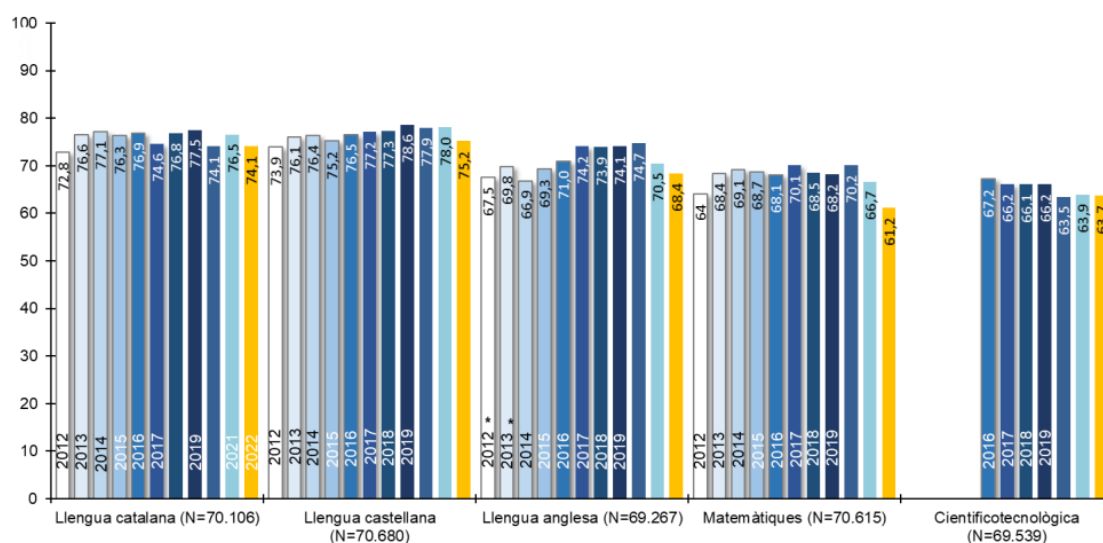
Nota. Obtinguda de OECD (2019, p.115)

Però aquestes no són les úniques proves que es fan als estudiants per determinar quin és el seu nivell competencial dintre de l'àmbit de les ciències. Si es parla del context de Catalunya, el Departament d'Ensenyament té la seva pròpia eina per avaluar el grau d'assoliment de les competències bàsiques definides en el seu sistema educatiu. Aquest diagnòstic es fa cada any als alumnes de 4t de secundària, a través de diferents proves competencials. Evidentment, una de les proves que ha de resoldre l'alumnat abans d'acabar aquesta etapa educativa, fa referència a la competència científicotecnològica.

El Departament d'Ensenyament de la Generalitat de Catalunya estableix la *competència de l'àmbit científicotecnològic* com "la capacitat que permet als alumnes resoldre problemes a partir dels coneixements científics i tècnics, així com del domini dels processos de l'activitat científica" (Izquierdo *et al.*, 2016, p. 6).

En referència al model de la prova de competències específiques de l'àmbit científicotecnològic, cada alumne ha de respondre a un total de 25 preguntes, de les quals 4 són de resposta oberta i la resta tipus test. Els resultats de la correcció s'estableixen en 4 nivells d'assoliment, essent el tram mínim on es considera que s'han assolit les competències mínimes entre els 50 i els 60 punts (Consell Superior d'Avaluació del Sistema Educatiu [CSASE], 2022). En conseqüència, el rang de valoració que s'estableix en aquest model de prova és diferent al de les proves PISA.

Figura 3.
Puntuació mitjana de competències bàsiques entre els anys 2012 i 2022.



Nota. Obtinguda de CSASE (2022, p. 17)

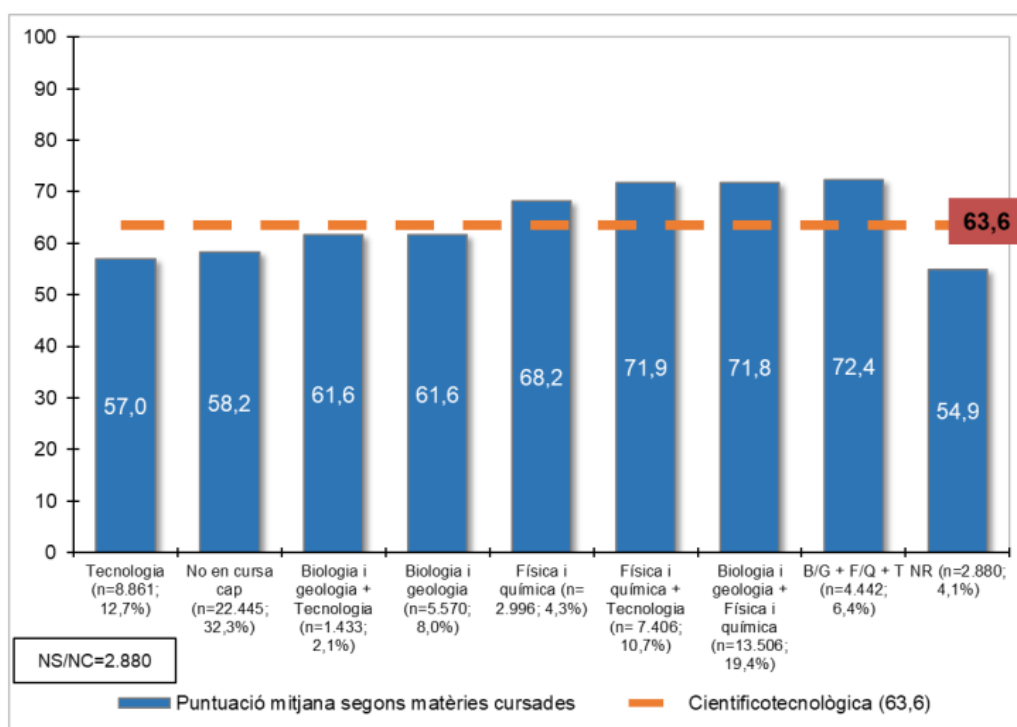
La figura 3 representa la sèrie de puntuacions mitjanes assolides per l'alumnat de l'últim curs de secundària entre els anys 2012 i 2022. En aquesta seqüència es pot apreciar com la competència científicotecnològica no es va començar a avaluar fins el 2016. Si bé els cursos acadèmics inclouen l'any d'inici i final (per exemple, curs 2022-2023), les proves de competències bàsiques s'identifiquen amb l'any natural que es fan. Així doncs, el calendari el marca el CSASE i, generalment, es fan entre la segona quinzena de febrer i la primera de març.

Amb els resultats d'aquest conjunt de proves diagnòstiques es constata que, la competència científicotecnològica de 2022 és la pitjor de la sèrie. De fet, entre el 2016 i el 2022 s'ha baixat la mitjana en 3.5 punts. No obstant això, aquesta tendència descendent s'ha frenat els últims anys. Cal esmentar també que les proves del curs 2021 es van veure afectades per les restriccions de la COVID-19. El confinament total de la població a partir del 14 de març de 2020 fins a final de curs o de grups bombolla durant el curs 2020-2021 va trencar la dinàmica habitual de les classes i el ritme d'aprenentatge.

Si es comparen els resultats de la sèrie entre les altres competències avaluades, s'hi pot observar que la competència matemàtica i la científicotecnològica estan, en general, per sota de la resta. Tanmateix, aquest informe també determina que els resultats estan condicionats en funció de les matèries optatives que han cursat els alumnes de quart de secundària.

Figura 4.

Resultats de les puntuacions mitjanes en la competència científicotecnològica en funció de les matèries optatives cursades



Nota. Obtinguda de CSASE (2022, p. 29)

En aquests resultats del 2022, i sense considerar l'alumnat que no ha donat resposta a quines optatives ha triat (última columna de la figura 4), els alumnes que només han fet la matèria de tecnologia (dintre de les opcions d'aquest àmbit) tenen la valoració mitjana més baixa de la sèrie. De fet, està inclús per sota dels que no en cursen cap de l'àmbit científicotecnològic. En canvi, quan la tecnologia es combina amb altres disciplines de la ciència, els resultats milloren.

A mode de resum, l'alfabetització científica és un aspecte molt important pel desenvolupament de la societat i, per aquest motiu, diferents institucions vetllen per garantir que els joves assolixin uns mínims de coneixements i habilitats que els permeti comprendre la ciència i

afrontar els reptes tecnològics del segle XXI. Però, tot i les propostes per arribar a complir aquest objectiu, els resultats no sempre acompanyen i, a dia d'avui, segueix essent necessari reforçar aquesta alfabetització científica amb els estudiants.

2.2 La ciència al nou currículum educatiu de Catalunya

Ben entrat el curs acadèmic 2021-22, el Departament d'Ensenyament de la Generalitat de Catalunya va presentar l'esborrany d'un nou pla curricular per a les diferents etapes educatives dels alumnes d'aquesta comunitat autònoma. Aquest model oferia noves matèries, una reorganització dels continguts i competències actualitzades. Tot plegat estava previst per a la seva implantació el curs 2022-23.

Ara bé, els documents finals corresponents als nous currículums per les etapes obligatòries de primària i secundària (DECRET 175/2022, 2022) i pel batxillerat (DECRET 171/2022, 2022) van determinar un període de tres cursos als centres educatius, des del moment de la seva publicació al Diari oficial de la Generalitat de Catalunya [DOGC], per implementar-los. Aquesta nova estratègia o marge d'aplicació fou com a conseqüència de la quantitat de canvis que requerien els nous models curriculars aprovats.

Evidentment, aquests dos decrets tracten molts temes que afecten tant als equips directius com als docents de cadascuna de les etapes educatives. Però, seguint la línia marcada pel Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya des de fa anys, ambdós textos defineixen currículums centrats en un aprenentatge competencial.

Per la línia d'investigació d'aquest TFM, els continguts més importants dels decrets són aquells aspectes corresponents a l'àmbit científicotecnològic. És a dir, la lectura dels currículums s'ha centrat, sobretot, als canvis en els continguts de les matèries de cada curs dintre d'aquest àmbit, així com en les noves competències clau de cada etapa i les específiques de les matèries.

D'una banda, en referència als objectius generals de secundària, l'article 4 (subapartats e; f; g) esmenta que qualsevol alumne que acabi l'etapa educativa obligatòria ha de tenir una bona alfabetització digital i científica entre d'altres aspectes (DECRET 175/2022, 2022, p.7). Amb paraules similars, l'article 5 (subapartats g; i; j) de batxillerat destaca la necessitat de fomentar els coneixements científicotecnològics en tots els seus aspectes: investigació, metodologies i usos (DECRET 171/2022, 2022, p.7).

D'altra banda, aquests mateixos documents publicats al DOGC, i en referència a l'organització dels coneixements, marquen certs canvis respecte el currículum anterior. Per exemple, al nou model de secundària (annex 3) i dintre de l'àmbit científicotecnològic apareix la matèria de tecnologia i digitalització, de caràcter obligatòria i que s'ha d'impartir entre el primer i el tercer curs. Aquesta matèria està estructurada amb continguts que ensenyen a fer un ús responsable de les TD en les diferents situacions de la vida quotidiana, entre elles, entorns d'aprenentatge. Així doncs, gràcies als coneixements adquirits en aquesta nova matèria, l'alumnat desenvoluparà habilitats i competències que facilitin la resolució de problemes amb solucions innovadores. També es descriuen, al mateix annex 3, els continguts i competències específiques

de la matèria de física i química que ha de permetre l'experimentació i la pràctica. És a dir, l'alumnat ha d'anar al laboratori i posar en pràctica aquells conceptes que ha après a classe.

Respecte al batxillerat, és aquí on hi ha més canvis en els continguts (annex 2). En primer lloc, a la modalitat de ciència i tecnologia apareix la matèria de tecnologia i enginyeria, la qual és de caràcter obligatòria. Aquesta està pensada per donar solucions tecnològiques a situacions que es podran trobar, en un entorn real, les persones joves que s'incorporin al món laboral un cop finalitzats els seus estudis. I en segon lloc, també estableix que l'alumnat tingui la possibilitat de cursar optatives de nova creació. Evidentment, aquestes matèries estan pensades pels diferents itineraris de batxillerat que l'alumnat vulgui triar. Per tant, en les modalitats científica i tecnològica s'ofereix la matèria de programació (de caràcter anual) i les matèries de robòtica i la de reptes científics actuals (de caràcter trimestral). A l'assignatura de programació s'ensenya a resoldre situacions concretes que requereixin l'ús de llenguatges de programació per codi. Ara bé, de les altres dues optatives de caràcter trimestral esmentades no hi ha cap temari especificat. Però és evident que la matèria de reptes científics actuals ha de tenir un enfocament pràctic al laboratori.

De tot plegat, se'n pot extreure la conclusió que els nous currículums, des del punt de vista de l'àmbit científicotecnològic, busquen millorar l'alfabetització digital i científica de l'alumnat. I per aconseguir-ho, cal aplicar una transversalitat de coneixements, tècniques, eines i procediments. D'aquesta manera, s'aposta per l'experimentació i les pràctiques de laboratori, les quals agafen més protagonisme que en el currículum anterior.

2.3 El mètode científic

El *mètode científic* és un conjunt d'operacions i accions que els investigadors de la ciència fan servir per resoldre un problema. Aquest mètode es fonamenta en un procés hipotètic-deductiu, que parteix de l'observació intencionada i sistemàtica d'algun fet i on els científics, per tant, elaboren una hipòtesi per deduir la realitat. Després corregeixen el seus models inicials en funció de les observacions realitzades, les experimentacions i de les dades recollides (González, 2003). En altres paraules, el mètode científic descriu tots els passos que comencen amb l'observació d'un fenomen i una pregunta, fins arribar a una conclusió i una comunicació dels resultats (Science Buddies, s.d.).

En tota investigació, que segueix el mètode científic, s'actua amb els següents passos o fases (González, 2003; Repte experimenta, 2021):

1. Observació: a partir d'un fenomen observat, el científic es planteja un problema. Aquest ha de ser susceptible de ser investigat i requereix fer una recerca de la teoria associada al fenomen.
2. Formulació d'hipòtesi: amb les reflexions pròpies de l'investigador i de les preguntes que puguin aportar una resposta, formula una hipòtesi.
3. Experimentació: és el procés que permet recollir les dades, a partir d'una situació controlada de les variables que hi intervenen, que reproduïx el fenomen observat.

4. Interpretació: en aquest pas, s'analitzen els resultats de les mesures i dels càlculs derivats d'aquestes. En funció dels resultats obtinguts, el científic sotmet a verificació la hipòtesi inicial.
5. Comunicació: el científic fa palesa dels resultats i conclusions del fenomen. Generalment, en fa constància en un informe o memòria per tal de poder ser reproduït i contrastat per altres persones.

L'ordre de tots aquests passos és seqüencial, però el científic sempre ha de tornar a un punt anterior per reafirmar les seves conclusions. Per tant, mai s'executa una sola vegada sinó que cal repetir alguns d'aquests passos per donar consistència i validesa al resultat (Science Buddies, s.d.; Voit, 2019). És més, si els resultats són contradictoris o poc coherents, el mateix investigador s'ha de replantejar la pregunta inicial o la hipòtesi.

En quant a l'aplicació del mètode científic és important que es planifiqui bé des d'un bon principi. González (2003) i Science Buddies (s.d.) coincideixen en com s'ha de planificar i desenvolupar:

- La pregunta relacionada amb el fenomen observat ha de tenir com a mínim una variable manipulable i controlable (variable independent) i una altra que es pugui mesurar i que depengui de l'anterior (variable dependent). També és important fer una recerca per saber els antecedents relacionats amb experiments similars. Mai s'ha de limitar a una única font i sempre s'ha de contrastar per evitar errors. La hipòtesis s'ha de poder comprovar amb els resultats de l'experiment. En conseqüència, aquesta s'ha de formular amb la variable independent i la dependent.
- Durant el transcurs de l'experiment s'hauran d'apuntar les dades observades, atès que aquestes s'hauran d'incloure a la memòria o informe final. Serà necessari utilitzar medis i instruments apropiats per verificar les prediccions. A més, les anotacions serviran per detectar possibles errors de procediment. Preferiblement, les observacions i dades obtingudes han de ser quantitatives (mesurables numèricament). Tanmateix, això no serà possible sempre i caldrà evidenciar-ho amb descripcions detallades, entrevistes o imatges i vídeos. Les dades recollides han d'estar ordenades i, normalment, es presenten en forma de taules. Els resultats finals, es recomana que sigui en forma de gràfica on es pugui apreciar la relació entre les variables independents i les dependents.
- La conclusió és clau per demostrar si la hipòtesi s'ha complert o no, de manera que es pugui justificar a partir dels resultats obtinguts experimentalment. Tot plegat ha de quedar recollit a l'informe o memòria. És per aquest motiu, que aquest document és essencial i serveix de guia per poder contrastar i reproduir, un altre cop, aquest experiment per qualsevol altre persona.

Si bé el mètode científic és el sistema emprat, majoritàriament, per la didàctica de les ciències als laboratoris dels centres educatius de Catalunya, aquest model no és l'únic. En altres països s'han adaptat altres mètodes, com per exemple el model 5E. Aquesta alternativa, també centrada en l'alumne, consta de cinc fases:

- Compromís (*engage*): s'involucra l'alumnat per afrontar un nou concepte a partir de les connexions amb els coneixements previs.
- Exploració (*explore*): mitjançant activitats experimentals i els conceptes previs generen noves idees per fer una investigació.

- Explicació (*explain*): en aquesta fase, l'alumnat explica i demostra el grau d'assimilació i comprensió del nou concepte treballat.
- Elaboració (*elaborate*): els docents proposen noves activitats per ampliar els conceptes apresos i plantejar nous desafiaments a l'alumnat.
- Avaluació (*evaluate*): s'avalua el progrés de l'alumnat.

Amb aquest enfocament alternatiu al mètode científic, l'estudiant participa en les sessions seguint una metodologia que millora la seva comprensió i, en conseqüència, l'assimilació de la ciència (Ruiz-Martín i Bybee, 2022).

2.4 Indagació científica i experimentació a l'escola

Tal com s'ha comentat als apartats anteriors, els governs, les lleis educatives a través dels currículums i les institucions assenyalen que és important incloure sessions pràctiques i d'experimentació als centres educatius. Però el fet de treballar unes experiències atractives per l'alumnat, com poden ser aquest tipus de sessions a banda de les classes teòriques, no són una garantia que els nois i noies deixin de tenir dificultats en la comprensió de la ciència (Garmendia i Guisasola, 2015). De fet, aquests autors van dissenyar una sèrie de tallers en horari lectiu on van poder constatar que, al final de la investigació, els alumnes feien un test de comprensió i, majoritàriament, triaven les respostes correctes però no la seva justificació.

Perquè les pràctiques de les ciències aportin valor a l'estudiant, Osborne (2014) va validar tres possibles situacions o contextos. Aquesta aportació positiva del laboratori es dona lloc quan la pràctica:

1. Ajuda en la comprensió de conceptes epistèmics i procedimentals.
2. Es converteix en un mitjà per assolir aquests coneixements.
3. No desvirtua la imatge real de què és la ciència.

Les gestions internes dels centres educatius a l'hora de dissenyar les pràctiques de laboratori, són un altre element important. Wang *et al.* (2019) afirmen que "la instrucció del laboratori de ciències sovint es veu compromesa per les limitacions de temps, la pressió per adherir-se a un horari d'ensenyament i la manca de coneixements sobre la implementació" (p.530).

En aquest sentit, la LOMLOE presenta com a novetat el concepte de *situació d'aprenentatge*, que es descriu com una experiència que planteja un repte per l'alumnat i que s'enfoca des d'un context real i plausible (Departament d'Educació, 2023). És a dir, en una situació d'aprenentatge el docent o els mateixos alumnes plantegen un problema, un cas real, o un desafiament que s'haurà de resoldre combinant els sabres de diferents àrees. En aquest nou escenari, s'encamina l'aprenentatge de l'alumnat de tal manera que assoleixi competències específiques de diferents matèries i, fins i tot, d'àmbits. Els alumnes són els conductors del seu propi aprenentatge al llarg de les diferents fases que conformen cadascuna d'aquestes situacions. Per tant, l'alumnat té una presència molt activa en totes aquestes accions.

Domènech-Casal (2022) descriu algunes orientacions per la didàctica de les ciències tenint com a referència diferents situacions reals que permetin desenvolupar nous aprenentatges. No

obstant, també puntualitza que s'ha de tenir present que el problema a resoldre ha d'estar en concordança amb els coneixements que es vol que adquireixi l'alumnat. Així doncs, l'autor defineix tres elements clau per definir una bona situació d'aprenentatge:

1. La *demanda* és el problema o repte que ha de resoldre l'alumnat fent ús dels conceptes apresos.
2. L'*escenari* és el context d'aplicació. Ha de ser rellevant i motivador, però no s'ha d'oblidar que també ha de ser significatiu. És a dir, ha d'estar relacionat amb els conceptes curriculars.
3. El *contingut* són els conceptes (sabers) i les competències que es vol que l'alumnat aprengui.

En referència a les competències, i dintre de l'àmbit de les ciències, Domènech-Casal amplia les dimensions d'aquetes i distingeix cinc competències unificades: conceptual, procedimental, epistèmica, tecnològica i ciutadana.

Dintre d'una situació d'aprenentatge hi encaixa perfectament la indagació científica. Aquesta estratègia didàctica permet que l'alumnat revisi el seu coneixement mitjançant activitats experimentals que representen una oportunitat per conèixer, de primera mà, el mètode científic (Borrull i Valls, 2019; Vick *et al.* 2012).

Pedaste *et al.* (2015) presenten una revisió sistemàtica sobre la indagació científica centrada en les diferents fases que la conformen. Si bé no tots els articles analitzats per aquests autors defineixen exactament per igual aquestes fases o utilitzen els mateixos termes, en general, segueixen una mateixa seqüència. La indagació científica i l'execució de les seves fases pot ser en ocasions, des del punt de vista de l'alumnat, una dinàmica complexa. Per aquest motiu, Pedaste *et al.* sintetitzen les fases i subfases, a partir de la seva revisió sistemàtica, tal com es mostra a la figura 5. Per últim, aquests autors conclouen que la fase de discussió on s'hi troben les subfases de comunicació i reflexió, és rellevant per la seva presència en tot moment de l'aprenentatge (durant i després de l'experimentació).

Figura 5.

Figura d'exemple de taula amb la relació de fases a la indagació científica.

General phases	Definition	Sub-phases	Definition
Orientation	The process of stimulating curiosity about a topic and addressing a learning challenge through a problem statement		
Conceptualization	The process of stating theory-based questions and/or hypotheses.	Questioning	The process of generating research questions based on the stated problem.
		Hypothesis Generation	The process of generating hypotheses regarding the stated problem.
Investigation	The process of planning exploration or experimentation, collecting and analysing data based on the experimental design or exploration.	Exploration	The process of systematic and planned data generation on the basis of a research question.
		Experimentation	The process of designing and conducting an experiment in order to test a hypothesis.
		Data Interpretation	The process of making meaning out of collected data and synthesizing new knowledge.
Conclusion	The process of drawing conclusions from the data. Comparing inferences made based on data with hypotheses or research questions.		
Discussion	The process of presenting findings of particular phases or the whole inquiry cycle by communicating with others and/or controlling the whole learning process or its phases by engaging in reflective activities.	Communication	The process of presenting outcomes of an inquiry phase or of the whole inquiry cycle to others (peers, teachers) and collecting feedback from them. Discussion with others.
		Reflection	The process of describing, critiquing, evaluating and discussing the whole inquiry cycle or a specific phase. Inner discussion.

Nota. Obtinguda de Pedaste *et al.* (2015, p.54)

Una segona revisió sistemàtica que busca conèixer la realitat que té la indagació científica en l'àmbit educatiu d'Espanya la presenten Aguilera *et al.* (2018). Aquesta està centrada en les publicacions que s'han fet a les revistes de didàctica de les ciències espanyoles entre 2007 i 2017. La investigació determina que l'enfocament per etapes educatives no és equitativa i, majoritàriament, està orientada a l'alumnat de secundària. Tanmateix, els autors conclouen que el nombre de publicacions estan lluny de les que es fan en altres països i que aquesta metodologia encara és baixa a les aules.

La indagació científica que es pot dur a terme a les escoles no segueix un únic model, però sí moltes coincidències en les fases que els engloben. Martin-Hansen (2002) defineix 4 tipus d'indagació científica en funció del grau d'implicació del professorat i de l'alumnat i les activitats a desenvolupar.

1. Indagació oberta o completa: l'alumnat és el protagonista i l'encarregat de dissenyar tota la seqüència d'indagació. S'inicia amb una pregunta del mateix alumnat, la formulació de la seva hipòtesi, el disseny del propi experiment, l'obtenció de dades i la comunicació i la reflexió personal final. Aquesta modalitat implica un nivell de pensament crític elevat.
2. Indagació guiada: el docent dona suport a l'alumnat en el procés d'indagació i també és qui planteja la pregunta. L'ajuda del professorat ha de venir en forma de guiatge o orientació en la seqüència. Serveix de base per poder aplicar, posteriorment, la indagació oberta. En cas de trobar-se davant d'un fenomen complex, es poden obtenir dades de fonts externes.
3. Indagació acoblada: on es combinen els dos models anteriors. El professorat planteja la pregunta inicial però després és l'alumnat qui assumeix la resta de la seqüència, seguint la dinàmica de la indagació oberta.
4. Indagació estructurada o dirigida: l'alumnat segueix les instruccions del docent. Per tant, es tracta del nivell més baix d'aplicació del pensament crític. En acabar, generalment, el professorat demana que l'alumnat proposi alguna millora.

D'altra banda, Couso (2014) puntualitza algunes característiques que ha de tenir la indagació científica i que acompanyen les definicions dels models anteriors. Per començar, el procés d'aprenentatge ha de tenir una base pràctica o experimental on es puguin recollir dades. En segon lloc, el protagonista ha de ser l'alumnat i ha d'estar motivat. Això s'aconsegueix, sobretot, amb un treball en grup més que amb activitats individuals. La tercera característica que destaca Couso és que el professorat ha de tenir un paper passiu, on la seva funció serà la de guiar l'alumnat. Per últim, s'ha de garantir que aquesta pràctica segueixi les diferents fases que conformen la indagació.

Així doncs, són moltes les variables que afecten a un bon resultat de les pràctiques o experiments. I per bon resultats, s'entén que l'alumnat assoleixi els objectius didàctics amb el millor dels contextos possibles. És aquí doncs, on les TD, la dinàmica de l'experiment i els continguts d'aquest últim, tenen un major pes. Tanmateix, trobar un equilibri entre aquests tres factors és important, però alhora difícil.

Per últim, la National Research Council (2012, p.49) estableix vuit aspectes claus que s'han de tenir presents en una sessió pràctica. Aquests punts, també s'especifiquen en funció de si es

tracta de l'àmbit científic o del tecnològic, però en termes generals, s'inclouen els següents aspectes:

1. Plantejar unes qüestions inicials en el cas de les ciències o presentar un problema per àmbits tecnològics
2. Fonamentar la pràctica en models
3. Dissenyar i executar la investigació
4. Analitzar i interpretar les dades
5. Ajudar-se del pensament computacional i de les matemàtiques
6. Explicar el fenomen científic o dissenyar una solució tecnològica
7. Argumentar l'evidència
8. Avaluar i comunicar els resultats a través d'informes.

2.5 Educació de qualitat

L'any 2015, l'Organització de Nacions Unides [ONU] va anunciar un conjunt de propostes de pau i prosperitat per garantir la igualtat d'oportunitats a totes les persones. Aquest conjunt de propostes es coneixen com Objectius de desenvolupament sostenibles [ODS] i són un total de 17 a complir en 15 anys, és a dir, abans de 2030 (ONU, 2015).

Entre aquests 17 objectius, n'hi un que fa referència a una educació de qualitat. En concret, es tracta de l'ODS 4, on es demana que tots els alumnes, en acabar la seva escolarització, assoleixin unes competències cognitives i socials mínimes. Aquest ODS 4, per tant, intenta promoure una educació de qualitat.

Però en aquests últims anys, els ODS no han acabat de prosperar al ritme que es desitjava. És per aquest motiu, que s'han anat fent revisions i propostes per impulsar-los. Així doncs, per exemple, al setembre de 2022 es va celebrar a Nova York la cimera sobre la transformació de l'educació. En aquesta trobada de nivell mundial, es van analitzar els efectes negatius de la COVID-19 sobre el sistema educatiu i es van establir unes vies d'acció per transformar l'educació. En altres paraules, es van plantejar 5 propostes d'acció que oferien "una oportunitat per replantejar i reimaginar el propòsit i el contingut de l'educació i les modalitats utilitzades per impartir-la" (ONU, 2022).

En el context d'aquest TFM, cal esmentar dues d'aquestes vies d'acció tractades a Nova York. La primera és la número 3 i fa referència als docents i a la professió d'ensenyar. En aquest punt es vol fer menció al rol del professorat que és clau en el procés d'aprenentatge de l'alumnat. Moltes vegades, els docents no disposen d'unes infraestructures de treball apropiades o se'ls limita en la possibilitat d'utilitzar recursos o metodologies per a la innovació. L'altra via d'acció que encaixa en el context d'aquest TFM és la número 4, la qual vincula la transformació digital i l'aprenentatge. En aquest sentit es demostra que, l'ús de les TD pot encaminar l'educació a una situació més inclusiva i eficient.

2.6 Les tecnologies digitals als laboratoris dels centres educatius

Les TD estan molt presents a les aules del segle XXI (Ditzler *et al.* 2016; Martin i Ertzberger, 2013; Walan, 2020). En conseqüència, investigar sobre l'ús de les TD a les aules és un tema habitual en l'àmbit de la tecnologia educativa (per exemple Johnson, 2020; Schmid *et al.*, 2022; Sorokoumova *et al.*, 2021).

Ara bé, seguint la línia d'aquest TFM centrat en la didàctica de les ciències, Van De Heyde i Siebrits (2020) encoratgen l'ús de les TD en entorns educatius d'aquest àmbit, perquè tenen un pes important en el procés d'aprenentatge. No obstant, també afirmen que no són la seva finalitat, sinó les eines que ho permeten. És a dir, les TD són una bastida per a una millor alfabetització científica. En canvi, Walan (2020) presenta un estudi on es qüestiona sobre l'ús de les TD a les aules de ciències on hi participen dos professors de secundària de les matèries de física, química i biologia. Tot i això, a les conclusions, l'autora constata que la TD facilita l'accés a nous recursos i permet personalitzar els continguts.

A continuació es presenten alguns exemples on s'apliquen, de manera concreta, algunes TD a les sessions pràctiques de les ciències en entorns educatius.

2.6.1 Ofimàtica

La ofimàtica es basa en l'ús d'eines informàtiques que faciliten la recerca i el tractament d'imatges, de textos i de dades. En entorns educatius són molt habituals i es poden treballar tant en línia com amb prèvia instal·lació a un ordinador.

Van De Heyde i Siebrits (2020) plantegen una investigació basada en el disseny enfocada a les pràctiques de laboratori de física i la introducció de memòries digitals. L'objectiu del seu disseny va consistir a passar del mètode tradicional d'escriptura de les memòries en paper i bolígraf (o en el millor dels casos amb Word) a un programari en el núvol. En aquest sentit, es van decantar per l'ús de Google Docs i Google Sheets a més d'altres extensions o complements. Aquests entorns permeten als professors consultar l'historial de les versions dels documents i proporcionar comentaris. A més, els estudiants van tenir la possibilitat d'enviar esborranys que eren retornats amb comentaris per part del professor. Ara bé, també són interessants les aportacions finals dels alumnes que majoritàriament van preferir el mètode de memòria tradicional (encara que fos amb Word). Aquestes respostes estaven argumentades per la dificultat del treball en línia, la dificultat per donar format al document i que molts d'ells no havien treballat mai amb Google Sheets.

Wang *et al.* (2019) van dur a terme una investigació experimental que utilitzava un sistema d'avaluació amb tecnologia multimèdia sobre un entorn web. A la fase inicial d'aquesta investigació, els alumnes dels dos grups (control i experimental) van fer dues proves pretest: una de nocions teòriques i l'altra de coneixements pràctics. Tot seguit, es va procedir a separar ambdós grups d'estudi per seguir metodologies didàctiques diferents abans de la sessió al

laboratori de ciències. El primer grup (control) va assistir al laboratori on el professor va fer una demostració de l'experiment químic. En canvi, el segon grup (experimental) va utilitzar un entorn web amb contingut multimèdia interactiu. A la següent sessió, tot l'alumnat va fer un mateix experiment de manera presencial al laboratori de química. Per concloure el disseny experimental, ambdós grups van completar unes proves posttests sobre nocions teòriques i coneixements pràctics. El resultat van demostrar que, si bé ambdós grups van millorar els resultats, els alumnes del grup experimental van obtenir millores més significatives.

Un tercer exemple el presenten Sudha i Amutha (2015). Es tracta d'un estudi amb alumnes de batxillerat matriculats a la matèria de química i que segueixen un ensenyament basat en un entorn web. Com a conclusions finals, els autors afirmen que aquesta TD permet assentar millor els coneixements i que, avui en dia, ja no es pot plantejar una didàctica tradicional sense aquesta tecnologia. Evidentment, això no significa que el paper del docent passi a un segon terme, sinó que l'entorn web s'ha de convertir en un complement més.

2.6.2 Aplicacions mòbils

L'ús de la tecnologia mòbil presenta, entre l'alumnat, un nou tipus d'aprenentatge denominat "aquí i ara" (Martin i Ertzberger, 2013, p. 77). Aquesta TD permet que qualsevol alumne tingui accés, al moment i des de qualsevol aula o espai, a tota aquella informació que necessita per realitzar les pràctiques o activitats. No obstant això, la majoria de les aplicacions que s'utilitzen als centres educatius estan enfocades a l'adquisició de continguts. En canvi, són poques les que busquen millorar les habilitats com el pensament crític i la creativitat (Ditzler *et al.* 2016).

Els dispositius mòbils actuals incorporen una gran varietat de sensors que es poden utilitzar a les pràctiques de física. En aquesta línia, Vieyra *et al.* (s.d.) presenten cinc experiències per transformar un dispositiu mòbil en un instrument de laboratori de física capaç de recollir i analitzar dades. És a dir, convertir magnituds físiques del món real en dades enregistrades pels mòbils i representar-les gràficament. Així doncs, per exemple, aprofiten el sensor de moviment i d'acceleració per presentar cinc experiències relacionada amb la dinàmica i la cinemàtica.

Un altre exemple es troba amb el disseny de l'aplicació mòbil ThinkLearn (Ahmed i Parsons, 2013). Aquesta proposta es basa en la metodologia d'investigació científica abductiva, la qual difereix en alguns aspectes del mètode deductiu i inductiu, que són els més habituals. El disseny de l'aplicació es va fer a partir de les aportacions del professorat de ciències d'una escola de Nova Zelanda i va ser utilitzada per alumnes de secundària. Per l'avaluació de la TD i dels estudiants, es van determinar tres nivells:

1. Micro: centrat en les activitats de cadascun dels alumnes i la utilitat de l'aplicació.
2. Meso: determina l'experiència de l'aprenentatge.
3. Macro: analitza l'impacte de la TD en les pràctiques d'aprenentatge.

Al final de l'article, Ahmed i Parsons confirmen que aquesta aplicació pot millorar l'aprenentatge i les habilitats. No obstant això, també conclouen que només s'ha aplicat en una escola i, per tant, caldria analitzar-lo en altres contextos.

Un altre disseny el presenten Nurul i Siew (2018). En aquest cas, segueixen el model *Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation* [ADDIE] per desenvolupar una activitat de física basada en aplicacions mòbils gratuïtes. L'objectiu de la sessió experimental va ser trobar la freqüència de ressonància en un tub cilíndric per calcular, posteriorment, la velocitat del so. Per aquest motiu, es van utilitzar dues aplicacions mòbils. La primera generava un to audible i la segona aplicació s'encarregava recollir les dades. Els autors conclouen que l'activitat permet observar i recollir dades en temps real i que els resultats de l'experiment físic es van ajustar més als valors reals de la velocitat del so que amb una metodologia tradicional on els alumnes es basaven en la determinació dels paràmetres per l'oïda.

No obstant, en certes ocasions no cal una aplicació específica instal·lada al mòbil per poder desenvolupar una indagació científica amb aquests dispositius. Partint de la base que el llevat té una estructura cel·lular apropiada per experimentar amb alumnes de secundària, Borrull i Valls (2021) proposen analitzar com afecta la radiació electromagnètica a les cèl·lules eucariòtiques. Aquest estudi, salvant certes diferències, seria aplicable als éssers humans perquè cada vegada s'utilitza més l'espectre de radiofreqüències en les comunicacions per mòbil. La particularitat d'aquest experiment és que es van utilitzar diferents models de mòbils que tenien variació en els nivells de SAR (*Specific Rate Absorption*), que és el paràmetre que determina l'energia absorbida pel cos respecte la que emet el mòbil. Aquesta radiació es va aplicar de manera experimental sobre mostres de llevat. L'alumnat va poder constatar que els resultats van ser diferents en funció del dispositiu mòbil utilitzat.

2.6.3 Simuladors

Ranken i Nunez (2012) afirmen que no totes les simulacions amb ordinador són millors que les experimentacions en viu. De fet, afirmen que la TD ajuda a la comprensió dels fenòmens només sota certes circumstàncies. I aquestes situacions favorables es presenten, bàsicament, quan la simulació redueix la complexitat de la pràctica real i quan l'alumnat té, abans de la sessió, un concepte imprecís del fenomen. Més enllà encara, apunten quatre factors que determinaran quan es facilita l'assimilació del concepte estudiat: la fiabilitat de les proves que s'han fet; la mateixa complexitat del fenomen estudiat; el format de l'experiment (en viu o simulat) i, per últim, les variables que intervenen en el procediment de l'experiment i el control que es pugui tenir sobre aquestes.

Un exemple d'ús de simuladors de física amb alumnes de batxillerat el presenten Chekour *et al.* (2022). A partir d'un aprenentatge combinat (metodologia tradicional on el professor imparteix la classe i l'ús de TD) plantegen un experiment amb 80 alumnes de 17 a 19 anys i una durada de quatre mesos. El grup control, format per la meitat dels alumnes, només rep un ensenyament tradicional, mentre que el grup experimental rep l'aprenentatge combinat amb el simulador PSPICE. Per analitzar les diferències finals entre ambdós grups van utilitzar un test basat en la taxonomia de Bloom. El resultat final confirma que l'ús de l'aprenentatge combinat no millora només conceptes relacionats amb les pràctiques, sinó també amb la teoria.

Kluge (2019) descriu l'ús d'un simulador interactiu de bombes de calor per alumnes de batxillerat. Aquest estudi centrat en l'ús de simuladors a les aules consta de tres nivells i està

enfocat a la comprensió dels canvis d'estat dels gasos i líquids a l'interior d'una bomba de calor. Aquest tipus de pràctica és molt difícil d'analitzar amb elements reals. Per tant, la simulació ofereix una alternativa d'estudi que és pràcticament inviable en una escola.

2.6.4 Laboratoris remots i virtuals

La possibilitat que els centres educatius puguin utilitzar laboratoris remots i virtuals es una realitat gràcies a la plataforma Go-Lab. L'oferta de simulacions en línia i equips remots, juntament amb dades experimentals obtingudes d'altres laboratoris físics reals queda recollida per De Jong *et al.* (2014). Els autors destaquen que aquests recursos ofereixen “espais d'aprenentatge estructurats pedagògicament”, cosa que facilita l'adquisició de nous conceptes i habilitats per part de l'alumnat (p. 2). Els docents, disposen de guies que poden adaptar segons les necessitats de l'alumnat i una comunitat en línia on es poden trobar amb altres professors per intercanviar propostes i dubtes.

Una proposta similar és la d'utilitzar els simuladors PhET. Es tracta d'un conjunt d'aplicacions que recreen experiments de física, química, tecnologia i altres disciplines de l'àmbit científicotecnològic. Maulidah i Prima (2018) n'utilitzen un d'aquests per proposar l'estudi de les ones a l'aula. Un dels grans avantatges d'aquestes simulacions és que els desenvolupadors (universitat de Colorado) ofereixen recursos pels docents com orientacions per treballar a l'aula i guies de treball pels alumnes.

D'una altra banda, Xie *et al.* (2021) van dissenyar uns laboratoris bessons de química. El terme *laboratori bessó* fa referència a la possibilitat recollir dades amb sensors d'experiments científics reals i fer-les accessibles a tothom. Aquest procés és possible gràcies a la tecnologia que està associada a Internet de les coses [IoT]. En conseqüència, serà necessària una rèplica virtual del sistema. També caldrà establir una transmissió o enviament de les dades que mesura el sensor i un procés d'actualització del sistema virtual. L'ús dels laboratoris bessons presenta certes avantatges educatives:

1. Es poden realitzar sessions síncrones o asíncrones
2. Inclouen accions interactives, permetent certa manipulació de l'experiment.
3. Es tracta d'un recurs reutilitzable i actualitzat.
4. Els experiments es poden redistribuir i compartir fàcilment.

Un altre exemple el presenten Galang *et al.* (2022), on descriuen l'ús de TD basada en formularis pel disseny de laboratoris virtuals durant la pandèmia. A través de la plataforma Microsoft, aquests autors van utilitzar l'eina Forms per plantejar dos tipus de preguntes complementades amb elements gràfics (vídeos i imatges). Per tant, en aquestes sessions virtuals, l'alumnat va haver de contestar a preguntes de resposta oberta i de tipus test per “fomentar el pensament crític i la presa de decisions mitjançant la incorporació de punts de ramificació” en fases clau del procediment de l'experiment (p. 1621). Aquesta diferència en el format de resposta va permetre seguir la dinàmica de treball que realitzarien els alumnes amb experiments en viu. És a dir, la recollida de dades i d'informació rellevant a través de l'observació per a les preguntes de

resposta oberta i la presa de decisions o valoració de les tècniques emprades durant el procediment en el cas de les respostes de selecció múltiple. Entre els avantatges que esmenten els autors en referència a l'ús d'aquesta TD, en destaquen els següents:

- És una eina gratuïta que la majoria d'institucions poden utilitzar sense cap costos addicional. Com alternativa, també proposen Google Forms.
- Permet treballar de manera síncrona o asíncrona.
- Genera un anàlisi estadístic o resum de les respostes que han fet els alumnes. Amb aquestes dades, els professors poden detectar dificultats o aspectes poc clars de l'experiment.

2.6.5 Programari avançat

En aquesta secció es mostren exemples de TD que requereixen una programació especial per convertir les pràctiques en interactives amb els alumnes. En altres paraules, que no utilitzen entorns habituals, sinó molt específics per cobrir algunes necessitats especials o bé perquè són tecnologies emergents.

El primer exemple presenta una solució quan s'ha de fer pràctiques de laboratori de ciències inclusives amb alumnat que té problemes de visió. Watters *et al.* (2021) van detectar que aquest perfil d'alumnat amb necessitats especials passava a tenir un paper passiu en el procediment de l'activitat. És a dir, es veien obligats a deixar la fase procedimental en mans d'altres companys que no presentaven aquest problema. Els autors van dissenyar una TD basada en intel·ligència artificial que utilitza altaveus intel·ligents i plaques Raspberry Pi. D'aquesta manera, qualsevol alumne que presenti problemes de visió pot realitzar el procediment pràctic de la sessió de laboratori mitjançant instruccions de veu que segueixen el llenguatge natural (Talking LabQuest).

Un segon exemple destacat és el presentat per Abdusselam i Kilis (2021) amb el disseny d'un microscopi amb realitat augmentada (MicrosAR). En aquesta investigació basada en el disseny es van fer diferents prototips que van ser provats per alumnes de secundària. El MicrosAR serveix tant per dispositius mòbils com per tauletes i, en conseqüència, ofereix grans avantatges.

Seguint la línia de la realitat augmentada, també és interessant saber com la utilitzen els alumnes i no centrar-se, únicament, en les possibilitats que ofereix aquesta TD. En altres paraules, conèixer els "patrons de navegació únics que revelen les diferents maneres dels estudiants d'observar, descriure, explorar i avaluar els fenòmens científics" amb entorns d'aprenentatge que incorporen aquesta TD (Jiang *et al.*, 2021, p.777). L'anàlisi es va poder fer gràcies a una aplicació mòbil de realitat augmentada que oferia 41 tipus d'interaccions per visualitzar els resultats dels experiments en diferents formats: gràfics de dades; imatges; vídeos i mons físics.

2.6.6 Robòtica

La robòtica educativa inclou una gran quantitat de plaques adaptables a tots els perfils d'alumnat (Arduino, LEGO, micro:Bit, Raspberry Pi, MakeyMakey...). El grau d'implementació ve, en part, pels currículums de cada país i per les dedicacions que vulguin tenir els mateixos centres educatius. Cada vegada són més les sessions que utilitzen aquestes TD per complementar la didàctica de les ciències. A més, tots aquests models de plaques es poden connectar a diferents sensors i actuadors per interactuar amb el món real.

El primer exemple és el resultat d'aplicar diferents TD entre les que destaquen les plaques Arduino, laboratoris virtuals i pissares interactives. Papadimitropoulos *et al.* (2021) van publicar un estudi on combinaven aquestes tres TD per fer pràctiques de química amb tres grups d'alumnes de secundària. Aquestes sessions estaven lligades al tema d'àcids i bases i on cada grup d'alumnes va treballar amb diferents combinacions de TD. Cal destacar que, per poder desenvolupar l'estudi, va ser necessari dissenyar una interfície per la pissarra interactiva que permetés el control i calibratge del sensor connectat a la placa Arduino. Així doncs, l'aprenentatge del grup d'alumnes que va treballar amb plaques Arduino i pissarres interactives va ser similar al que ho va fer amb laboratoris virtuals i pissarres interactives. En canvi, el grup que només va veure continguts digitals no manipulables, va ser qui va tenir un grau d'aprenentatge inferior.

La gran varietat de sensors que es poden connectar a les plaques Arduino fa que també siguin aptes per experiments de física. Però tal com s'ha esmentat abans, el mètode científic no és l'únic mètode per ensenyar ciència. En aquest cas, Koray i Duman (2022) es basen en el model 5E per dissenyar una activitat de física per alumnes de secundària d'una escola de Turquia. A l'experiment, els estudiants utilitzen una placa Arduino per entendre el funcionament d'un dinamòmetre i les relacions de força. A la sessió pràctica, els alumnes va haver de mesurar l'allargament d'una goma elàstica a la qual s'hi havia lligat un got amb pesos a l'interior. L'elongació de la goma, com a conseqüència de l'increment del pes al got, es va mesurar amb un sensor d'ultrasons.

Els robots LEGO són una alternativa a les plaques Arduino. Cavas *et al.* (2020), fan ús del Mindstorms EV3 per canviar les percepcions dels estudiants envers de la visió que tenien dels científics. En el seu estudi, aquests autors van aplicar un aprenentatge basat en la indagació per formar els estudiants. A l'últim mòdul, se'ls va plantejar un problema que van haver de solucionar a partir dels coneixements adquirits en els 7 mòduls anteriors. Al final de la investigació es va demanar que dibuixessin com creuen que seria un científic i el van comparar amb els dibuixos previs.

3. MARC METODOLÒGIC

3.1 Problema de recerca

A l'escola de La Salle de Tarragona, en totes aquelles matèries de l'àmbit científicotecnològic que s'hi fan sessions pràctiques, hi ha la mateixa problemàtica. El docent ha d'agafar el seu grup d'alumnes i portar-lo al laboratori o aula STEM. Aquest desplaçament implica, com a mínim cinc minuts, doncs aquests dos espais estan a diferents edificis d'on s'imparteixen habitualment totes les classes. Un cop allà, s'ha de passar llista i repartir el material de treball per començar la pràctica. Aquestes altres dues accions també impliquen un temps aproximat de cinc minuts.

Tanmateix, abans d'acabar la sessió cal recollir el material i desar-lo. A més, l'alumnat ha de guardar el seu treball (llibreta de laboratori) o arxius digitals al seu compte de correu electrònic o al núvol. De nou, es tracta d'un procés que suposa uns altres cinc minuts. Per últim, s'ha de fer el viatge de tornada cap a l'aula classe per deixar l'alumnat a temps i començar la següent assignatura amb un altre docent.

Així doncs, dels 55 minuts de classe que marca l'horari només se'n poden aprofitar, en els millors dels casos, entre 35 i 40 minuts.

Per consegüent, aquesta limitació de temps condiciona molt les pràctiques que es poden fer. Cal tenir present que, en algunes ocasions, el procediment de la pràctica pot ser una mica laboriós. Qualsevol error en aquest pas implicarà repetir-la i pot condicionar que l'alumnat no pugui completar la resta de passos que conformen la pràctica. Convé destacar també que, segons la topologia de la pràctica, si no s'ha fet bé el procediment o no s'ha completat en una mateixa sessió de laboratori, caldrà tornar a començar-la des del principi a la següent sessió. En altres paraules, no es pot deixar a mitges i reprendre-la uns dies més tard.

A més, també interessa que l'alumnat extregui les conclusions a partir dels resultats finals en la mateixa sessió que s'ha fet el procediment, la recollida de dades i el càlcul de resultats. Deixar una setmana de temps entre els primers passos i els últims, fa que l'alumnat perdi el fil conductor de la pràctica i l'objectiu d'aquesta.

Per tant, seria bo simplificar o agilitzar alguns dels passos que conformen el mètode científic, sense perdre l'essència de la pràctica de laboratori. És a dir, optimitzar el temps disponible automatitzant el desenvolupament de la sessió en aquells passos que garanteixin poder complir els objectius de la pràctica i el seu rigor científic.

3.2 Objectius de recerca

Arran de la problemàtica presentada al punt anterior, s'estableixen una sèrie d'objectius a complir en aquest TFM.

Objectiu principal: Dissenyar, desenvolupar, implementar i avaluar una TD capaç de generar, automàticament, una memòria de les pràctiques del laboratori de ciències en els camps de la física, la tecnologia i/o la robòtica, per l'alumnat de secundària i batxillerat.

D'aquest objectiu principal se'n deriven els següents objectius específics:

OE1: Analitzar el context actual de l'ús de TD en els laboratoris de ciències per etapes educatives de secundària i batxillerat.

OE2: Estudiar la viabilitat de la TD seleccionada per determinar les possibles limitacions en el seu ús dintre d'una pràctica STEM.

OE3: Desenvolupar el model de memòria que, a partir de la TD seleccionada, automatitzarà alguns dels passos del mètode científic que conformen una pràctica STEM.

OE4: Implementar a l'aula de 2n d'ESO la pràctica de laboratori que utilitzi el nou model de memòria basat en la TD seleccionada.

OE5: Avaluar la funcionalitat i acceptació del prototip per part de l'alumnat de 2n d'ESO en el context real d'una pràctica STEM.

3.3 Preguntes de recerca

La següent taula mostra una relació de preguntes plantejades i relacionades amb els objectius esmentats al punt anterior.

Taula 1.
Relació de preguntes d'investigació amb els objectius específics.

Pregunta d'investigació	Objectiu
PI1. Quins estudis relacionen l'ús de TD a les pràctiques de laboratori amb alumnes d'escoles i instituts? PI2. Quin tipus de TD s'utilitzen en aquestes sessions? PI3. A quines fases de les pràctiques de laboratori s'utilitzen les TD? PI4. Quins passos són més importants, per a un docent, en el desenvolupament d'una pràctica de laboratori que segueixi el mètode científic? PI5. Quina acceptació podria tenir una TD que, aplicada a una memòria o informe, automatitzi alguns dels passos del mètode científic?	OE1
PI6. Quines característiques ha de tenir la TD que generi un informe o memòria de pràctiques a partir de les dades obtingudes al laboratori?	OE2
PI7. Quins ajustos i complements addicionals requereix aquesta TD per una plena integració amb una sessió pràctica STEM on intervenen elements de robòtica?	OE3
PI8. Quins canvis són necessaris aplicar, a una sessió pràctica amb alumnes, quan s'implementa la nova TD?	OE4
PI9. Amb quines dificultats s'han trobat els alumnes que han participat en la pràctica en el moment d'utilitzar el nou model de memòria?	OE5

PI10. Quins avantatges ha suposat la implementació de la tecnologia digital? Ha ajudat a solucionar (o minimitzar) el problema?	
---	--

Nota. Elaboració pròpia

3.4 Aproximació metodològica

La metodologia que s'utilitza en aquest treball és la investigació basada en el disseny (IBD), atès que es busca desenvolupar una solució tecnològica per resoldre un problema donat en un context d'una pràctica educativa.

D'acord amb Plomp (2010, p.13) aquest tipus d'investigació destaca per seguir un estudi metòdic i rigorós amb l'objectiu de dissenyar, desplegar i analitzar la implementació d'un programari (o material o estratègia) per actuar sobre un problema educatiu complex.

En aquesta metodologia, a diferència d'altres on el disseny i la investigació són processos seqüencials, no existeix una separació entre ambdós (Edelson, 2002). Així doncs, el disseny es presenta com una via per millorar la comprensió en aspectes relacionats amb el procés d'ensenyament-aprenentatge.

De Benito (2006) estableix que aquesta metodologia d'investigació té "implicacions sobre la pràctica, l'èmfasi de la qual és la solució de problemes i la construcció de coneixement dirigit al disseny, desenvolupament i avaluació del procés educatiu, així com a desenvolupar principis i orientacions per a futures investigacions" (p. 128). Per tant, no és ni empírica ni quantitativa.

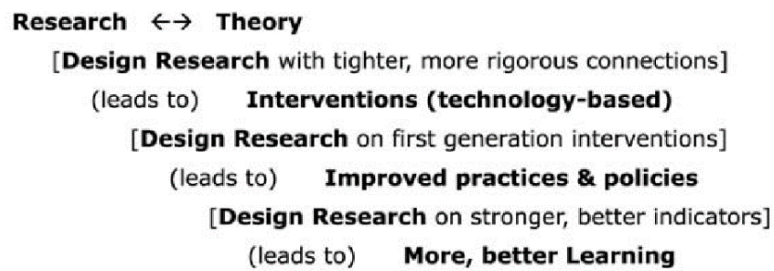
Una altra definició de la investigació basada en el disseny és la que presenta Barab i Squire (2004): "una sèrie d'enfocaments, amb la intenció de produir noves teories, artefactes i pràctiques que tinguin en compte i puguin afectar l'aprenentatge i l'ensenyament en entorns naturalistes" (p. 2).

Van den Akker *et al.* (2006, p. 5) recullen, en base a la revisió bibliogràfica que fan, quatre característiques que ha de tenir la investigació basa en el disseny:

- Intervencionista: l'objectiu és dissenyar una intervenció directament sobre un context real.
- Iteratiu: de forma cíclica s'alternen fases de disseny, avaluació i revisió.
- Orientat al procés: amb la finalitat de millorar les intervencions.
- Orientat a la utilitat: l'èxit es mesura amb quant pràctic esdevé el disseny pels usuaris del context real.
- Orientat a la teoria: l'avaluació en el context real ha de validar la teoria.

Per decidir quan s'ha de triar aquesta metodologia, Walker (2006) es planteja la següent pregunta: "Quins mètodes i enfocaments d'investigació tenen més probabilitats de conduir a una investigació productiva del disseny?" (p. 10). El mateix autor aporta una referència a la possible solució a través de l'esquema de la figura 6.

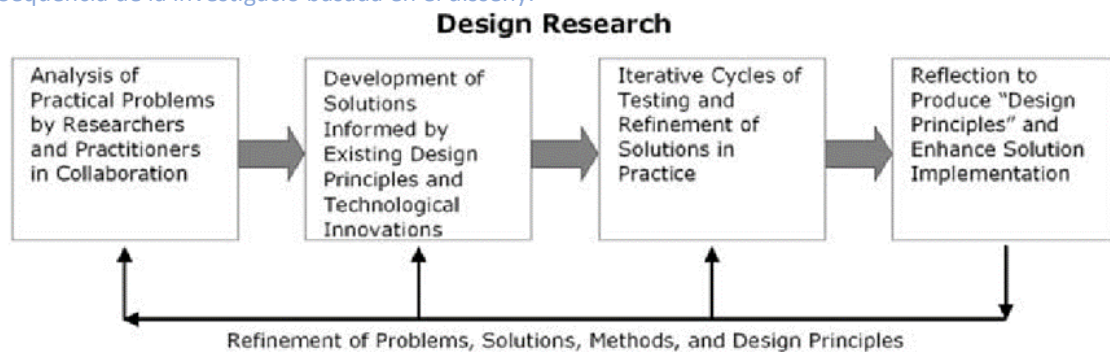
Figura 6.
Com la investigació millora la pràctica.



Obtinguda de Walker (2006, p. 10)

Per altra banda, la seqüència que planteja Reeves (2006) per la investigació basada en el disseny (figura 7), ha estat la base de nombrosos estudis i serveix de referència a molts investigadors.

Figura 7.
Seqüència de la investigació basada en el disseny.

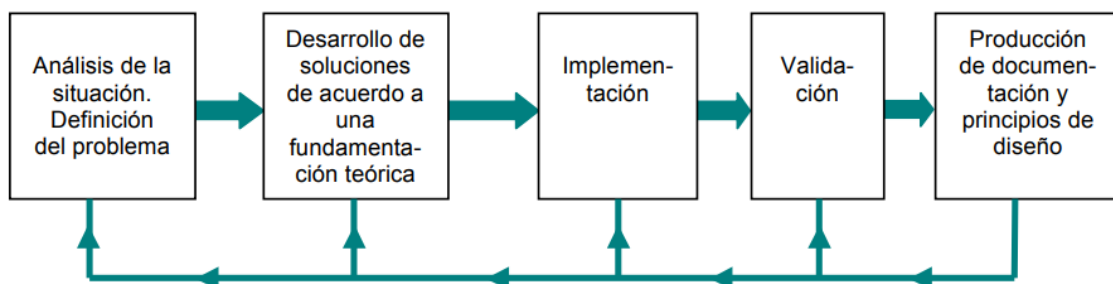


Obtinguda de Reeves (2006, p. 59)

En aquesta seqüència, quan es tracta de tecnologies educatives, és necessari que tant els investigadors com el personal docent i l'alumnat siguin parts integrades en el disseny de la solució. A través de les diferents iteracions, cada grup participant aporta solucions al prototip.

Seguint a de Benito i Salinas (2016) s'hi pot veure una adaptació (figura 8) de la seqüència descrita anteriorment per Reeves.

Figura 8.
Seqüència adaptada de la investigació basada en el disseny.

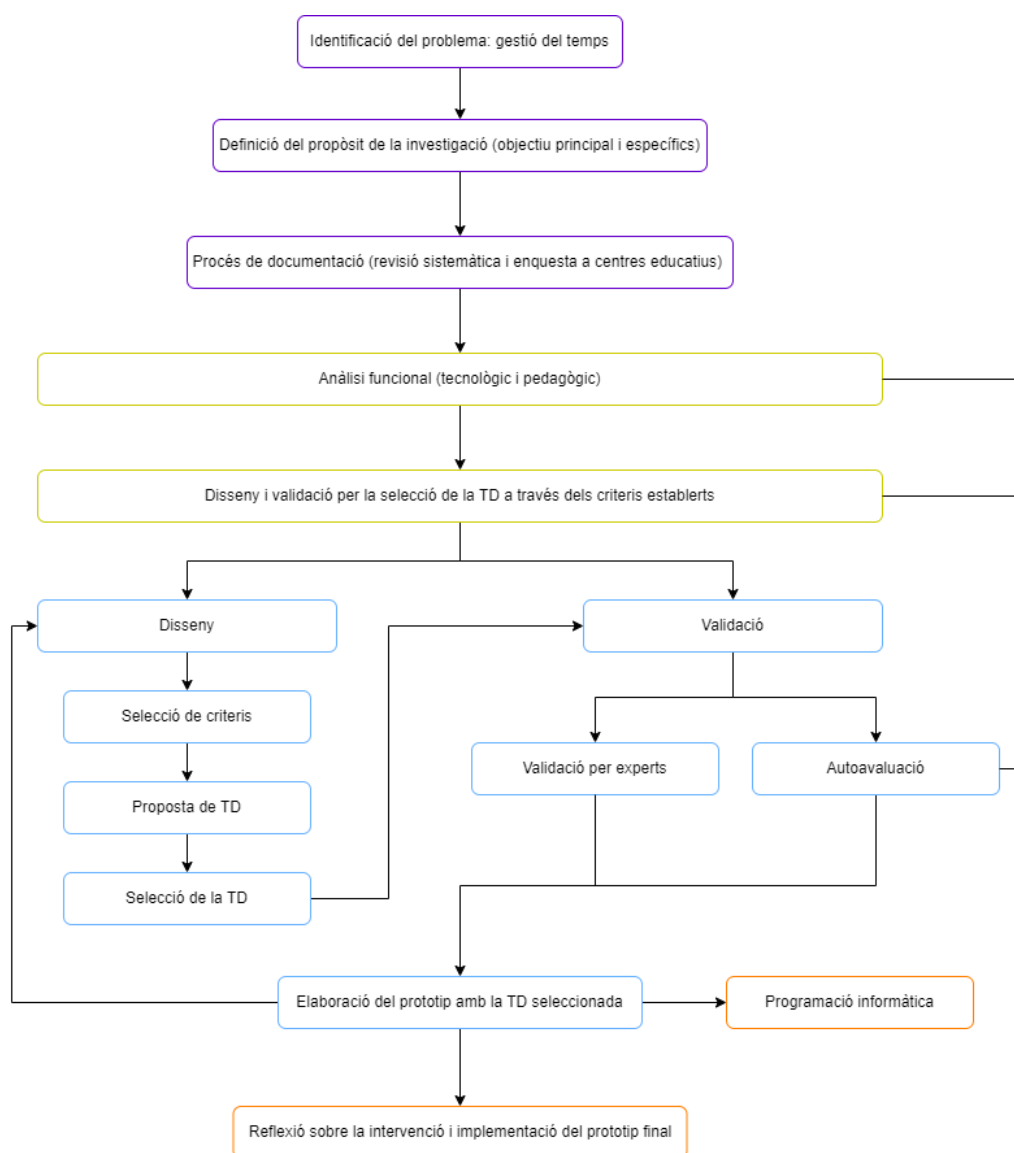


Nota. Obtinguda de De Benito i Salinas (2016, p. 49).

Aquesta última seqüència serà, per tant, la guia a seguir i de referència al llarg d'aquest treball d'investigació. Es pot apreciar que el punt de partida és un anàlisi del context real on es presenta el problema. El segon pas és definir el marc teòric sobre el qual se sustentarà el possible disseny. Tot seguit es fan iteracions d'implementació, validació i anàlisi que permetran reajustar el disseny.

En el present TFM, la investigació basada en el disseny s'aplica a un experiment STEM amb alumnes de 2n d'ESO i incorpora elements de robòtica. Tal com s'ha definit prèviament a l'objectiu principal, es vol dissenyar una TD per automatitzar la memòria de les pràctiques. De Benito i Salinas (2016, p. 52) mostren un diagrama de flux adaptat al desenvolupament de productes educatius. A continuació, es mostra com seria aquest diagrama de flux adaptat al present treball d'investigació.

Figura 9.
Diagrama de flux de la investigació basada en el disseny per aquest TFM.



Nota. Adaptada de De Benito i Salinas (2016, p. 52)

3.5 Disseny de la recerca

En el marc d'aquest TFM s'estableixen, seguint la dinàmica de la investigació basada en el disseny i el diagrama de la figura 9 de l'apartat anterior, les següents fases:

Taula 2.

Resum de les activitats principals i relació d'objectius específics que intervenen a cada fase de la investigació.

	Fase	Objectiu Específic	Descripció de l'activitat
1	Recerca preliminar	OE1	Anàlisi de necessitats i del context a nivell internacional (revisió sistemàtica) i local (enquesta)
2	Prototipatge	OE2 – OE3	Disseny iteratiu on cada iteració millora i refina la intervenció. Prototip 1 i 2
3	Avaluació de prototip	OE4 – OE5	Resultats i recomanacions de millora de la intervenció. Prototip 2
4	Avaluació final	OE5	Reflexió i elaboració dels principis de disseny (enquesta)

Nota. Elaboració pròpia

1. Anàlisi del context (OE1): per conèixer quina TD s'utilitza en les pràctiques de laboratori dels centres educatius i en quines fases de l'experiment, es realitza una revisió de la literatura a nivell internacional, fent èmfasi en si alguna d'elles s'aplica directament sobre la memòria o informe de la pràctica. A nivell local, una enquesta al professorat de l'àmbit de les ciències i la tecnologia de Catalunya per determinar si les eines i TD trobades a la revisió sistemàtica s'apliquen també en un context més proper.
2. Prototip 1. Estudi i anàlisi de la TD que encaixin amb les funcionalitats tecnològiques i didàctiques per desenvolupar el disseny del prototip de memòria digital automatitzada. En aquesta fase s'ha fet una prova (prototip 1) per determinar les possibilitats reals d'aplicació a l'aula.
3. Prototip 2. Disseny i correcció d'errors del prototip 2 que s'utilitzarà amb els alumnes. En aquesta tercera fase s'han hagut de programar els diferents entorns que conformen la pràctica de laboratori i la memòria. Abans d'utilitzar el prototip, també s'ha fet una sessió explicativa a l'alumnat sobre el funcionament i ús del nou model de memòria digital. Per acabar aquesta fase, s'ha fet la sessió de laboratori amb el disseny acabat i els alumnes.
4. Enquesta a alumnes i professor per conèixer si s'han assolit els objectius del disseny i extreure les conclusions finals.

Aquestes quatre punts són una adaptació de les fases i criteris més importants descrits per Plomp (2010) en una investigació basada en el disseny, i que l'autor resumeix a la figura 10.

Figura 10.

Figura d'exemple de taula on s'especifica les fases, criteris i una descripció per una investigació basada en el disseny.

	Stage	Criteria	Short description of activities
1	Preliminary research	Emphasis mainly on <i>content validity</i> , not much on <i>consistency</i> and <i>practicality</i>	Review of the literature and of (passed and/or present) projects addressing questions similar to the ones in this study. This results in (guidelines for) a framework and first blueprint for the intervention.
2	Prototyping stage	Initially: <i>consistency (construct validity)</i> and <i>practicality</i> . Later on mainly <i>practicality</i> and gradually attention for <i>efficiency</i> .	Development of a sequence of prototypes that will be tried out and revised on the basis of formative evaluations. Early prototypes can be just paper-based for which the formative evaluation takes place via expert judgments.
3	Assessment phase	<i>practicality</i> and <i>efficiency</i>	Evaluate whether target users can work with intervention (<i>practicality</i>) and are willing to apply it in their teaching (<i>relevance & sustainability</i>). Also whether the intervention is effective.

Nota. Obtinguda de Plomp (2010, p.27)

Tota aquesta dinàmica de treball, dividida en fases, s'ha distribuït al llarg del temps segons la següent seqüència:

Figura 11.

Temporització de les diferents fases de la investigació basada en el disseny que s'aplica en aquest TFM.

Fase	Activitat	Inici	Final	nov-22	des-22	gen-23	febr-23	març-23	abr-23	maig-23
1	Revisió sistemàtica de la literatura	nov-22	gen-23	■						
1	Enquesta a professorat i anàlisi	gen-23	febr-23		■					
2	Estudi de possibles tecnologies digitals	febr-23	març-23			■				
2	Prova Prototip 1	febr-23	març-23			■				
3	Programació dels entorns de treball	març-23	abr-23				■			
3	Correcció d'errors en Prototip 2	abr-23	abr-23					■		
3	Sessió explicativa del nou model de memòria digital	abr-23	abr-23					■		
3	Implementació Prototip 2	abr-23	abr-23					■		
4	Enquesta a alumnat i anàlisi	maig-23	maig-23						■	
4	Conclusions finals	maig-23	maig-23						■	

Nota. Elaboració pròpia

3.6 Context i participants

3.6.1 Context de l'estudi

La Salle Tarragona és un centre educatiu fundat l'any 1906 que pertany a una institució amb 300 anys d'història i present a més de 80 països. L'escola va tenir la seva primera ubicació a la Part

Baixa de la ciutat de Tarragona. Amb els anys, el nombre d'alumnes matriculats va augmentar considerablement i, després d'alguns canvis d'ubicació, la Salle Tarragona s'instal·la definitivament als terrenys de Sescelades l'any 1971. Al 2006, l'escola rep la Medalla d'Or de la ciutat de Tarragona en reconeixement a la tasca educativa per part de la comunitat de germans i professors.

Actualment, el centre és de titularitat concertada a les etapes d'infantil, primària i secundària. L'etapa de batxillerat, en canvi, és de titularitat privada. Aquesta escola té més de 1400 alumnes entre totes les etapes i l'alumnat es distribueix en diferents edificis segons el seu nivell acadèmic. L'entorn de l'escola és incomparable, atès que té una gran quantitat d'espais oberts i, fins i tot, un hort i un bosc.

El perfil de les famílies que porten els seus fills i filles a l'escola és de classe mitjana/alta. Molts d'aquests alumnes tenen algun germà o germana al mateix centre educatiu.

A l'etapa de primària hi ha quatre línies amb un total de 25 alumnes per classe. A secundària, en canvi, només hi ha tres línies. No obstant, cada classe té aproximadament uns 31 alumnes de mitjana. Finalment, a batxillerat, al tractar-se d'una etapa de titularitat privada, es redueix el nombre d'alumnes per classe i en funció de la modalitat. En total, aquesta última etapa post obligatòria té més de 60 alumnes (entre les diferents modalitats i per cada nivell).

Respecte a la durada de les classes de secundària i batxillerat, al matí són de 55 minuts i a la tarda d'1 hora. Algunes matèries de secundària de l'àmbit de les ciències i de la tecnologia tenen desdoblament. És a dir, hi ha dos professors que agafen a la meitat d'alumnes de la classe i, cadascun d'ells, dedica la seva sessió a una part diferent de la matèria. Per exemple, a les ciències, un dels professors dedica la seva sessió a impartir teoria i a la resolució d'activitats i problemes amb la meitat del grup classe. En canvi, l'altre docent va al laboratori a fer pràctiques amb l'altre meitat de l'alumnat. Aquestes sessions es van alternant de manera que tots els alumnes treballen els mateixos continguts, però en diferents sessions. El mateix passa a la matèria de tecnologia, on un professor es queda a classe explicant teoria i l'altre va a l'aula STEM a fer projectes de robòtica, programació d'aplicacions mòbils i disseny 3D. Com en el cas de les ciències, a cada sessió hi ha una alternança entre grups d'alumnes.

3.6.2 Participants

Per aquesta investigació, i en funció de les seves fases, han intervingut diferents grups de participants. És a dir, els de la fase 1 per determinar si les eines i TD trobades a la revisió sistemàtica s'apliquen també en un context més proper són docents de centres educatius de Catalunya. La població i la mostra d'aquesta fase s'explica amb més detall a l'apartat 3.7.3 d'aquest document. En canvi, per les fases 2, 3 i 4, els participants són professorat i alumnat de la Salle Tarragona i es detalla a continuació.

En la fase 2, on es fa el disseny del prototip 1, va participar el coordinador de robòtica a l'escola (i responsable de la robòtica a 2n d'ESO). A més, aquesta persona és la mateixa que realitza el present treball d'investigació. Per tant, és tracta d'una persona implicada en totes les parts.

En la fase 3, pel disseny del prototip 2, hi torna a participar el mateix docent. A més, en aquesta mateixa fase es duu a terme la implementació del prototip a la sessió pràctica de laboratori on es prova al llarg d'una setmana amb els diferents grups de desdoblament de la matèria de tecnologia de 2n d'ESO (on s'inclou la robòtica).

La població coincideix amb els alumnes de 2n d'ESO de la Salle Tarragona amb edats compreses entre els 13 i els 14 anys. D'aquest conjunt de 96 alumnes, 6 d'ells no van venir el dia de la sessió pràctica per motius personals. En conseqüència, la mostra de participants en la implementació del prototip 2 és de 90 alumnes dels quals 42 són noies i 48 nois. Aquesta distribució representa el 46.67% per al primer grup i el 53.33% per al segon.

Per últim, en la fase 4 on es fa l'enquesta a l'alumnat i professorat participant a la sessió d'implementació del prototip 2, coincideixen amb els de la fase 3. És a dir, els 90 alumnes de 2n d'ESO i el professor responsable de la matèria de robòtica.

3.7 Instruments i tècniques de recollida de dades

Entre la primera i la quarta fase d'aquesta investigació basada en el disseny s'han utilitzat tres instruments de mesura. Es tracta d'enquestes que es responen a través d'un formulari en línia. La primera està destinada al professorat que treballa a centres educatius de Catalunya i s'ha enviat a la primera fase de la investigació. Els altres dos formularis s'han utilitzat a la quarta fase, pensat per l'alumnat i professorat que participa a la sessió pràctica on s'implementa el disseny del prototip 2.

Tot instrument de recollida de dades, sobretot si es contextualitza a l'àmbit de la tecnologia educativa, ha de seguir uns criteris d'ètica basats en la confidencialitat de les dades obtingudes, la confidencialitat dels participants i una correcta informació del propòsit d'aquesta eina (Coiduras *et al.*, 2016; Sabariego, 2019).

En referència als criteris d'ètica, cap dels instruments de recollida de dades sol·licita informació personal dels docents a qui va destinat, ni sobre terceres persones que estiguin adscrites als centres educatius on treballen aquestes docents. Per aquest motiu, només s'ha cregut necessari informar de la finalitat de les enquestes i de l'anonimat de les respostes. Així doncs, tal com es pot consultar a l'annex II, el text adjunt al correu electrònic que s'ha enviat als centres educatius, inclou informació de l'objectiu de l'enquesta i de l'ús que se'n farà.

Pel que fa als alumnes de 2n d'ESO de la Salle Tarragona, se'ls va informar en tot moment que participarien en l'estudi del disseny del prototip i que, per tant, l'activitat STEM formava part d'un TFM on es volia avaluar, precisament, aquest prototip de memòria automatitzada. És a dir, que el paper dels alumnes seria provar aquest prototip en una pràctica real no avaluable per a ells i que en acabar se'ls preguntaria, de forma anònima i amb una enquesta, sobre la usabilitat i funcionalitat del prototip.

Les enquestes s'han dissenyat a través de l'eina Microsofts Forms i amb el compte d'usuari d'estudiant URV. Totes les dades recollides s'han guardat a un document Excel del mateix compte i en una carpeta privada del OneDrive. Les respostes, per tant, han quedat emmagatzemades en un fitxer que garanteix la privacitat i confidencialitat de les dades.

A mode de resum, la taula 3 mostra la relació entre les preguntes de recerca, els objectius, l'instrument de recollida de dades, la font d'informació i la fase de la recerca.

Taula 3.

Relació de preguntes d'investigació amb els objectius i els instruments de recollida de dades per a cada fase de la investigació.

Pregunta d'investigació	Objectiu	Instrument	Font d'informació	Fase
<p>PI1. Quins estudis relacionen l'ús de TD a les pràctiques de laboratori amb alumnes d'escoles i instituts?</p> <p>PI2. Quin tipus de TD s'utilitzen en aquestes sessions?</p>	OE1	Plantilla de creació pròpia	Literatura científica	1
PI3. A quines fases de les pràctiques de laboratori s'utilitzen les TD?	OE1	Plantilla de creació pròpia	Literatura científica	1
		Enquesta en línia	Professorat	
<p>PI4. Quins passos són més importants, per a un docent, en el desenvolupament d'una pràctica de laboratori que segueixi el mètode científic?</p> <p>PI5. Quina acceptació podria tenir una TD que, aplicada a una memòria o informe, automatitzi alguns dels passos del mètode científic?</p>	OE1	Enquesta en línia	Professorat	1
PI6. Quines característiques ha de tenir la TD que generi un informe o memòria de pràctiques a partir de les dades obtingudes al laboratori?	OE2			2
PI7. Quins ajustos i complements addicionals requereix aquesta TD per una plena integració amb una sessió pràctica STEM on intervenen elements de robòtica?	OE3			3

PI8. Quins canvis són necessaris aplicar, a una sessió pràctica amb alumnes, quan s'implementa la nova TD?	OE4			3
PI9. Amb quines dificultats s'han trobat els alumnes que han participat en la pràctica en el moment d'utilitzar el nou model de memòria? PI10. Quins avantatges ha suposat la implementació de la tecnologia digital? Ha ajudat a solucionar (o minimitzar) el problema?	OE5	Enquesta en línia	Alumnat i professorat que ha participat en la implementació del prototip 2	4

Nota. Elaboració pròpia

3.7.1 Recerca preliminar: la revisió sistemàtica

L'eina principal que disposa qualsevol investigador per evidenciar de manera fiable i precisa els resultats de la recerca principal d'informació de la seva investigació és amb una revisió sistemàtica que es basa en la declaració PRISMA (Liberati *et al.*, 2009). La declaració PRISMA inclou una llista de 27 ítems essencials que serveix als investigadors per presentar l'informe i un diagrama de flux de quatre fases. Ara bé, no totes les investigacions necessiten complementar aquests 27 ítems.

Kitchenham (2004) planteja tres fases per realitzar una correcta revisió sistemàtica: planificació, realització i presentació dels resultats. La planificació és la primera i consta de dues etapes que són: definir la necessitat de la revisió i establir el protocol que la guiarà. En canvi, la fase de realització està dividida en més etapes. Aquestes es poden resumir en: identificació de la investigació amb una recerca imparcial i de rigor; ús de criteris d'inclusió i exclusió per seleccionar les fonts primàries; avaluació de la qualitat de l'estudi; seguiment de dades que permetin recopilar la informació i que donin resposta a les preguntes d'investigació. Per últim, s'ha de presentar un resum de dades que faciliti la comprensió del resultat.

3.7.2 Enquesta inicial a centres educatius

Per tal de conèixer la realitat dels centres educatius de Catalunya en referència a les pràctiques de laboratori, s'ha preparat una enquesta. Amb aquest instrument es vol saber, sobretot, quines són les TD més utilitzades pels alumnes d'aquesta comunitat autònoma als laboratoris de ciències i en quines fases del mètode científic les fan servir.

El formulari s'ha dividit en quatre seccions. La primera demana informació sobre les matèries de l'àmbit científicotecnològic amb sessions pràctiques al centre educatiu. Inclou dues preguntes de selecció múltiple per saber els noms de les matèries i el nivell educatiu, així com una tercera

pregunta (en format desplegable) per indicar la durada d'aquestes sessions. La segona secció se centra en les eines i TD emprades pels alumnes als laboratoris. Aquí s'han inclòs tres preguntes, totes elles de selecció múltiple. La primera permet entre escollir simuladors, laboratoris virtuals o remots, dispositius mòbils amb aplicacions específiques, robòtica, ordinadors i programari. La segona pregunta demana a quines fases de la sessió pràctica s'utilitzen les anteriors eines i TD. Per acabar, també es vol saber amb quin format lliuren, els alumnes, la memòria o informe de la pràctica. La tercera secció de l'enquesta està formada per dues úniques preguntes. Una inicial on es demana als docents ordenar, de més important a menys, tres accions que han de saber fer els alumnes en una sessió pràctica de laboratori. Les opcions són: dur a terme el procediment de la pràctica, calcular els resultats finals i, per últim, justificar els resultats i escriure les conclusions. En aquesta mateixa secció es demana que valorin (escala d'1 a 5) si considerarien apropiat disposar d'una TD que permeti automatitzar, en major o menor grau, part de la memòria. La quarta i última secció de l'enquesta al professorat dona l'opció de deixar un correu electrònic en el cas de voler rebre els resultats de l'enquesta en la què ha participat. Per tant, aquesta és de resposta oberta.

Totes les respostes de l'enquesta són obligatòries excepte les de l'última secció, on és voluntari deixar el correu electrònic.

3.7.3 Validació de l'enquesta inicial als centres educatius

Per estar segur que aquest instrument de recollida de dades compleix amb els objectius establerts en aquesta investigació, un grup d'experts en l'àmbit de la tecnologia educativa l'ha validat. Així doncs, se'ls ha preguntat sobre tres criteris, avaluats de l'1 (=molt en desacord) al 5 (=molt d'acord), a cada pregunta que conforma l'enquesta. Els tres criteris establerts a cadascuna de les preguntes han estat els següents:

- *Univocitat*: per saber si la pregunta era comprensible i estava ben redactada. Aquest criteri determina possibles ambigüitats o interpretacions sobre la qüestió.
- *Pertinença*: per establir el grau d'adequació i idoneïtat. A més, mesura la relació que té la pregunta amb l'objectiu de la recerca.
- *Rellevància*: l'expert estableix el grau de rellevància que té la qüestió en el conjunt de l'enquesta.

A part d'aquests tres criteris descrits anteriorment, també s'ha deixat un espai per comentaris, on els experts han pogut fer suggeriments o deixar la seva opinió en cas de detectar alguna incoherència en la pregunta original.

Per tal que, en el moment de fer la validació, tinguessin clar el context de l'enquesta es va enviar una breu descripció i l'objectiu principal del treball. El formulari de validació es va enviar a 10 persones i es va deixar un termini d'una setmana per fer la validació. Al final d'aquest espai de temps, es van obtenir 8 validacions (5 dones i 3 homes).

Els resultats de la validació, així com els comentaris que es van recollir, es poden consultar a l'annex I. Les aportacions que van fer els experts en l'àmbit de tecnologia educativa van servir per fer algunes modificacions a l'enquesta abans de ser enviada als centres educatius. Els canvis més importants s'esmenten a continuació:

- Agrupar “Tecnologia / Enginyeria / Robòtica” com a una única matèria.
- Canviar “curs educatiu” per “nivell educatiu” a la segona pregunta.
- S’amplia el rang d’opcions per la durada de les sessions de pràctiques i s’ha ajustat el redactat a “Quant duren, de mitjana, aquestes pràctiques de laboratori?”.
- S’afegeix la paraula “recursos” a la quarta pregunta.
- S’accepta la proposta de fer un canvi en el redactat de les preguntes cinc, sis i set.

El formulari definitiu de l’enquesta, tal com va quedar i es va enviar als centres educatius, es pot consultar al mateix annex I.

3.7.4 Població i mostra de l’enquesta al professorat de ciències

La població està composta per centres educatius de secundària i batxillerat de Catalunya. D’aquest conjunt, es va seleccionar una mostra de 270 escoles i instituts de tal manera que, 177 són de titularitat pública mentre que els 93 restants són de titularitat privada o concertada. Aquesta distribució representa el 65.55% per al primer grup i el 34.45% pel segon. A més, la mostra inclou escoles i instituts tant de ciutats grans com de poblacions petites.

En total, han donat resposta a l’enquesta 45 persones. Atès que les dades obtingudes eren anònimes es desconeix el percentatge de centres educatius de titularitat pública i concertada o privada que han contestat. Tanmateix, no s’ha pogut determinar tampoc el gènere (home /dona) dels participants.

3.7.5 Enquesta d’implementació a l’aula del prototip 2

Pel tram final de la investigació, ha estat necessari utilitzar dues eines de recollida de dades. En aquesta quarta fase s’han preparat dues enquestes que estan destinades a saber si el disseny del prototip de la memòria digital compleix amb les funcionalitats que s’havien plantejat.

El formulari de l’alumnat consta d’una sola secció amb cinc qüestions simples i clares, per tal de no generar confusió. Així doncs, se’ls ha preguntat sobre cinc variables, avaluades segons l’escala Likert de l’1 (=molt en desacord) al 5 (=molt d’acord). Aquestes variables són: integració, adaptació, càlculs, usabilitat i temps.

El formulari del professor també consta d’una sola secció, però amb sis preguntes (una més que la dels alumnes). En conseqüència, les cinc primeres coincideixen amb les variables que s’han plantejat als estudiants. No obstant, les preguntes no s’ha redactat igual que aquest col·lectiu atès que es busca la percepció que ha tingut el docent amb el treball de l’alumnat. De fet, les quatre primeres preguntes són de valoració de l’1 (=molt en desacord) al 5 (=molt d’acord). En canvi, la cinquena és numèrica. La sisena pregunta que s’ha afegit al final del formulari del professor és de resposta oberta i serveix per deixar comentaris i impressions sobre l’experiència amb els alumnes.

3.7.6 Validació de l'enquesta del prototip 2

Com s'ha fet en el cas de la primera enquesta als centres educatius, les dues enquestes de la fase 4 també han passat per un procés de validació. Aquest procediment ha estat similar a l'anterior. Al grup d'experts en l'àmbit de la tecnologia educativa se'ls ha preguntat sobre tres criteris, avaluats de l'1 (=molt en desacord) al 5 (=molt d'acord) i per a cada pregunta que conformen les dues enquestes. Aquests tres criteris (univocitat, pertinença i rellevància) coincideixen amb els descrits, anteriorment, a l'apartat 3.7.3 d'aquest mateix document. A més, s'ha deixat un espai per comentaris, on els experts han pogut fer suggeriments o deixar la seva opinió en cas de detectar alguna incoherència en la pregunta original.

El formulari de validació es va enviar a 7 persones i es va deixar un termini d'una setmana per fer la validació. Al final d'aquest espai de temps, tots els experts (4 dones i 3 homes) van poder retornar la seva validació. Per facilitar la feina, en el mateix formulari de validació es van incloure, en seccions diferents, les preguntes a l'alumnat i al professorat.

Els resultats de la validació així com els comentaris que es van recollir es poden veure a l'annex III. Per últim, seguint els suggeriments i abans d'utilitzar l'enquesta, es fa un canvi de manera que, el redactat passa de format pregunta a format afirmació.

El formulari definitiu de l'enquesta per l'alumnat que va participar en la prova del prototip i el del professorat, es poden consultar al mateix annex III.

3.8 Anàlisi de dades

Aquesta investigació basada en el disseny, per la naturalesa de les dades obtingudes en els diferents instruments de mesura, és de metodologia mixta. En conseqüència, una part de l'estudi és de caràcter qualitatiu però també n'hi ha una altra que és quantitativa.

Si bé els mateixos instruments de recollida de dades que s'han comentat en els apartats anteriors, ofereixen un resum amb gràfiques, des del punt de vista d'aquesta investigació no són apropiades pel seu anàlisi. En altres paraules, cal fer un estudi més profund i científic per analitzar totes les respostes. Així doncs, les dades qualitatives s'han analitzat amb el programa Maxqda. En canvi, per l'anàlisi dels resultats quantitativa i la presentació dels resultats en forma de taules estadístiques i gràfiques, s'ha utilitzat el programa Jasp.

4. RESULTATS

En aquest capítol s'analitzen els resultats de les dades obtingudes amb els diferents instruments de mesura. Degut a la gran quantitat de dades, a cada apartat es mostren els valors més rellevants i destacables, però al final del document hi ha annexos amb l'anàlisi de la totalitat de les dades. Cal destacar que tots aquests resultats es presenten a partir de les diferents fases del treball. Al tractar-se d'una investigació basada en el disseny, cada fase té una lectura completament diferent

4.1 Fase 1: recerca preliminar

4.1.1 Revisió sistemàtica de la literatura

La revisió sistemàtica que s'ha dut a terme en aquest TFM ha estat realitzada per una única persona entre el novembre de 2022 i el gener de 2023, amb una segona revisió al juny de 2023. En el procés d'aquesta revisió sistemàtica s'ha seguit la guia de la declaració PRISMA (Page *et al.*, 2021). Per intentar que aquesta cerca fos prou acurada (dintre de les característiques d'aquest TFM) s'han utilitzat diferents bases de dades: ERIC, Scopus i Taylor&Francis i Web of Science. Aquestes quatre bases de dades estan especialitzades en la investigació educativa, les ciències socials i diferents disciplines de les ciències. Unes altres bases de dades que s'han consultat, però sense una cerca prou exitosa, han estat DialNet i Google Scholar.

A la part inicial d'aquesta revisió s'ha seguit una estratègia de recerca consistent en diferents termes: *laboratori de ciències; memòria de laboratori; tecnologies digitals; ciència; física; química; biologia; robòtica STEM; secundària i batxillerat*. Evidentment, aquests termes s'han escrit en anglès a les bases de dades esmentades.

Després d'algunes proves on els resultats van ser molt extensos i poc acurats, es va utilitzar un conjunt dels termes anteriors, units per operadors booleans (*AND* i *OR*). L'opció final que s'ha utilitzat en mode de recerca avançada ha estat: ("laboratory report" OR "laboratories reports") AND (science OR technology OR "digital technologies" OR (robotics OR STEM)) AND (secondary OR "high school"). Si bé a la base de dades ERIC no va ser necessari especificar res més, per les altres, l'estratègia va ser lleugerament modificada per tal que apareguessin en el títol o en el resum ("abstract").

Així doncs, del conjunt de registres identificats inicialment en corresponen 86 a ERIC, 25 a Scopus, 100 a Taylor&Francis i 10 a Web of Science. En altres paraules, en total s'han obtingut 221 registres entre les quatre bases de dades.

Posteriorment, s'ha fet un procés de cribratge on s'ha eliminat els registres duplicats i els intel·ligibles per ser enllaços a altres cercadors, llocs web o arxius. Tot seguit s'ha passat a la fase d'inclusió i exclusió basat, en primer lloc per l'antiguitat i després pel títol i el resum. Posteriorment, s'ha fet una segona exclusió a partir de la lectura completa del document. Els criteris que s'han seguit en aquestes dues fases d'exclusió i d'inclusió es poden consultar a la taula 4.

Taula 4.
 Criteris d'exclusió i inclusió utilitzats en la revisió sistemàtica.

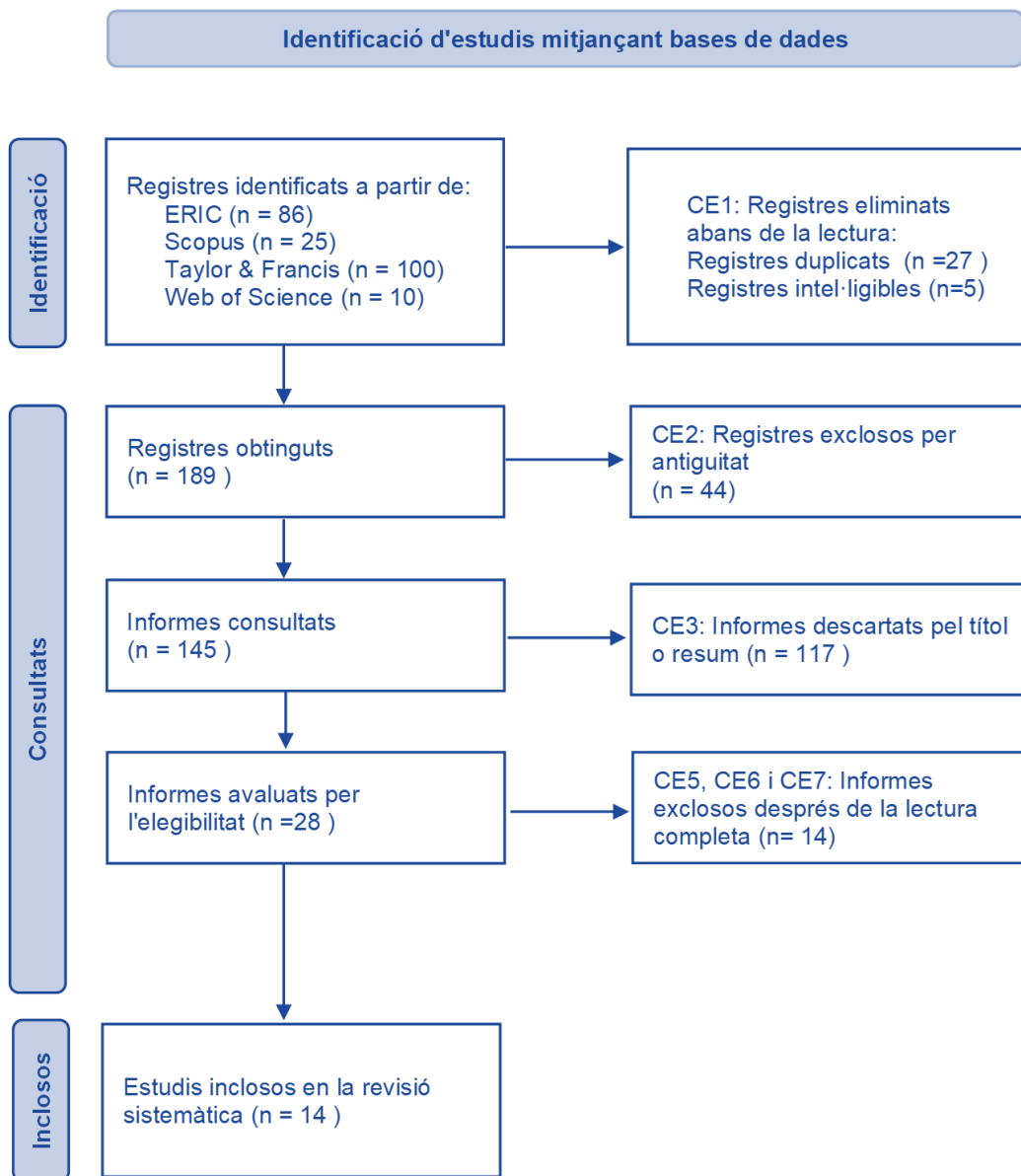
Criteris d'exclusió	Criteris d'inclusió
CE1: No s'ha pogut llegir per no tenir accés al registre o estar incomplet	CI1: Articles que adjunten exemples de memòries de laboratori i/o rúbriques per la seva correcció.
CE2: Tenen una antiguitat superior a 10 anys, es a dir, d'abans de 2013	CI2: Revisions sistemàtiques del treball que es fa als laboratoris dels centres educatius
CE3: Després de la lectura del títol i del resum no s'ha trobat cap relació amb el propòsit de la recerca sistemàtica	CI3: Articles que incorporen TD durant el procés de les pràctiques de laboratori
CE4: Se centren en el professorat o en els equips directius dels centres	CI4: Autors que destaquen la importància del laboratori de ciències en relació a les competències de l'alumnat (encara que siguin d'altres nivells educatius)
CE5: Es basen en tasques desenvolupades per metges o en clíniques	CI5: Articles on els alumnes fan ús de TD col·laboratives
CE6: L'alumnat pertany a nivells educatius universitaris	
CE7: Només fa menció de l'equipament utilitzat al laboratori	

Nota. Elaboració pròpia

Cal destacar que en aquesta revisió sistemàtica s'ha detectat que, en funció del país on s'ha fet l'estudi o publicació, l'autor o autors han utilitzat diferents notacions per especificar el nivell acadèmic dels alumnes. És a dir, així com a Catalunya a l'etapa de secundària hi ha quatre nivells (1r, 2n 3r i 4t), en altres països en pot haver-hi més i no utilitzar aquesta nomenclatura. On s'ha trobat més dificultats és quan apareixien termes com *Grade*, *Postsecondary school* o *High school*. Per tant, s'assumeix que al no especificar les edats, es pugui haver comés algun error.

Els resultats de cadascuna de les fases d'aquesta revisió sistemàtica es poden veure detallats al següent diagrama de flux (figura 12).

Figura 12.
Diagrama de flux de la revisió sistemàtica.



Nota. Adaptada de Page et al. (2021, p.5)

El conjunt d'estudis que han quedat inclosos en aquesta revisió sistemàtica, es poden veure a la taula 5 on s'han afegit algunes dels ítems més destacats.

Taula 5.

Resum dels articles seleccionats a la revisió sistemàtica.

Codi	Autors (any)	Criteris d' inclusió	Alumnes	Àmbit	Tipus de tecnologia	Fases de pràctiques
A1	Batty i Reilly (2022)	CI4	Amb necessitats especials	Ciències en general	No especifica	Totes
A2	Carreño <i>et al.</i> (2021)	CI3	Batxillerat	Física	Aplicacions mòbils	Procediment, recollida de dades i anàlisi
A3	Dolino (2020)	CI4, CI5	Secundària	Química	Google Docs	Recerca
A4	Erduran <i>et al.</i> (2020)	CI4	Batxillerat i secundària	Ciències en general	No especifica	Totes
A5	Gericke <i>et al.</i> (2023)	CI2	Secundària	Ciències en general	No especifica	Recerca
A6	Hike i Hughes-Phelan (2020)	CI1	Batxillerat i secundària	Ciències en general	No especifica, però permet l'ús d'ordinadors i programari	Totes, però fa menció especial al redactat de memòries
A7	Landicho (2020)	CI4	Secundària	Ciències en general	No especifica	Recerca i redactat de memòries
A8	Lo (2013)	CI3, CI5	Universitari	Física	Wiki col·laborativa	Redactat de memòries
A9	Kranz <i>et al.</i> (2023)	CI2	Universitari, batxillerat i secundària	Ciències en general	No especifica	Totes
A10	Schiffer <i>et al.</i> (2020)	CI3	Batxillerat i secundària	Química	Simuladors	Procediment, recollida de dades i anàlisi

Codi	Autors (any)	Criteris d' inclusió	Alumnes	Àmbit	Tipus de tecnologia	Fases de pràctiques
A11	Sood <i>et al.</i> (2023)	CI1	Batxillerat	Química	Instruments de laboratori, editors de text i PowerPoint	Totes
A12	Van De Heyde i Siebrits (2022)	CI3	Universitat	Física	Google Docs i Google Sheets	Anàlisi de dades, càlculs i redactat de la memòria
A13	Whitehead i Murphy (2014)	CI1	Batxillerat	Ciències en general	No especificada	Redactat de memòries
A14	Zang <i>et al.</i> (2017)	CI3, CI4	Universitat batxillerat i secundària	Química	LabVIEW i Arduino	Totes

Nota. Elaboració pròpia

A partir dels resultats de la taula 5 se'n poden extreure, a mode de resum, les següents conclusions de la revisió sistemàtica que s'ha fet en aquesta investigació.

Hi ha un parell d'autors que prenen el punt de partida de la seva investigació en base a resultats de proves PISA (A2 i A4).

La importància que es dona a l'escriptura en contextos científics i, en conseqüència, en el redactat de memòries o informes de laboratori fins al punt d'adjuntar exemples o models (C11) s'ha detectat a tres articles (A6, A11 i A13). Alguns d'aquests autors, també mostren rúbriques amb les pautes per una elaboració correcta i més acurada de l'informe.

S'han trobat dues revisions sistemàtiques (C12) sobre el treball pràctic de les ciències en entorns educatius. Una d'aquestes dues (A5) se centra més en l'estratègia de com ensenyar ciència, mentre que l'altra (A9) amplia la seva recerca a tots els passos del mètode científic i n'extreu resultats per a cadascuna de les fases. Ambdues publicacions segueixen la declaració PRISMA per fer la revisió sistemàtica.

En referència a les preguntes d'investigació de l'OE1, la revisió sistemàtica aporta algunes respostes. Així doncs, a les preguntes PI2 i PI3 de la taula 3 que busquen conèixer, respectivament, quin tipus de TD s'utilitzen a les sessions pràctiques i a quines fases ho fan, s'han trobat articles específics sobre aquestes qüestions. Les TD utilitzades en diferents fases de les pràctiques (C13) són un element destacable a cinc publicacions. Les aplicacions mòbils (A2) i els simuladors (A10) són emprats pels alumnes durant el procediment però també en les fases de recollida de dades i anàlisi. En canvi, (A12) utilitza Google Docs i Google Sheets per les fases d'anàlisi de dades i redactat de la memòria. Una manera diferent de redactar els informes la presenta (A8) fent ús d'una Wiki amb els alumnes. Mereix una menció especial (A14) que fa ús del LabView per generar memòries digitals a partir dels resultats obtinguts a través d'una placa Arduino. És a dir, aquesta TD també s'utilitza durant el procediment, el càlcul i l'anàlisi. No obstant això, cal destacar que el disseny i implementació va suposar una inversió de 3000 \$.

Els mencionats (A8 i A14), juntament amb (A1, A3, A4, A7 i A10) són exemples d'autors que posen especial interès en les competències que treballen els alumnes durant les sessions pràctiques de ciències, ja sigui fent recerca o als laboratoris (C14). D'aquest grup, cal destacar l'article (A1) on les autores es preocupen per l'alumnat amb necessitats especials durant les sessions pràctiques. Aquest perfil d'alumnat se sent molt insegur i per les seves condicions i requereix especial atenció.

Per acabar aquest resum de la revisió sistemàtica, els articles (A3 i A8) mencionats anteriorment, també s'han inclòs al C5. Els autors fan ús de TD col·laboratives, de manera que els alumnes treballen en petits grups i fan aportacions entre ells.

El document que recull les fases i els ítems avaluats per fer aquesta revisió sistemàtica, així com la referència als articles de la taula 5, es poden consultar a l'annex IV.

4.1.2 Anàlisi de l'enquesta als centres educatius i proposta del disseny

Tal com s'ha comentat a l'apartat 3.8 d'aquest document, el resum que genera el mateix instrument de recollida de dades (vegeu annex V) no permet fer un anàlisi rigorós corresponent a aquest tipus d'investigació. No obstant això, a nivell global, s'observa que les matèries amb més presència als laboratoris són, per ordre descendent, química, biologia, física, tecnologia/enginyeria/robòtica i, per últim, geologia. Els nivells educatius on s'apliquen, majoritàriament, sessions de laboratori són en ordre descendent, 2n d'ESO, 3r d'ESO, 4t d'ESO, 1r de Batxillerat, 1r d'ESO i 2n Batxillerat. A la majoria de centres educatius, aquestes activitats pràctiques tenen una durada de 60 minuts, encara que també hi ha un conjunt elevat d'escoles que fan sessions de 45 minuts.

En referència als recursos i tecnologies més utilitzats destaquen, per sobre de tot, els ordinadors i l'ofimàtica general (editors de text i/o fulls de càlcul). Els simuladors i elements de robòtica també tenen un pes important. Els que menys s'utilitzen són els dispositius mòbils i tauletes i els laboratoris virtuals o remots. Si bé aquestes TD s'utilitzen sobretot a la fase del redactat de la memòria, en general tenen presència en totes elles. No obstant, el format més habitual per entregar les memòries o informes de les pràctiques segueix essent el de llibreta complementada a mà i el format de memòria digital escrita amb editor de text.

A la pregunta d'ordenar, de més important a menys, les accions que han de saber fer els alumnes, els docents han considerat que la més important és la de justificar els resultats i escriure les conclusions. En segon lloc, amb poc marge de diferència, saber fer el procediment i obtenir les dades. La que prioritzen menys els docents és la de saber calcular els resultats finals. Finalment, la valoració que fan els centres educatius de poder disposar una TD capaç de generar una memòria automatitzada en alguns passos, té una valoració mitjana de 3.76 sobre 5 punts.

Però, al tractar-se de respostes de selecció múltiple, es necessari estendre aquest anàlisi més enllà del resum que ofereix Microsoft Forms. Per un correcte anàlisi qualitatiu de les respostes emmagatzemades al full de càlcul, s'ha cregut necessari establir les següents categories amb el programa Maxqda:

- Variable matèria. Les diferents opcions de resposta s'han agrupat en dues subcategories (Àmbit científic o Àmbit tecnològic).
- Variable curs / nivell. Les possibles respostes han quedat distribuïdes en dues subcategories (Secundària o Batxillerat).
- Variable temporització. Aquelles respostes que eren inferiors a 60 minuts s'han inclòs a la subcategoria Sessió_curta. Les que arriben o superen l'hora s'han inclòs a la subcategoria Sessió_completa.
- Variable tecnologies. La subcategoria Tradicionals inclou les respostes d'ordinadors i ofimàtica. La subcategoria Alternatives agrupa qualsevol de les altres respostes.
- Variable fases. S'ha cregut oportú establir una subcategoria per a cadascuna de les possibles fases. Així doncs, aquestes subcategories s'han definit en funció de l'ordre lògic del mètode científic.
- Variable format memòria. S'han creat tres subcategories, on la primera (Clàssic) inclou aquells formats que són fets a mà o amb editors de text convencionals. La segona subcategoria (Actualitzat) agrupa les respostes que inclouen TD no tan estandarditzades

i més innovadores. Per últim, s'ha inclòs la subcategoria Cap per quan no es demana cap format de memòria.

- Variable prioritats. Les respostes d'aquesta variable són ordenades. És a dir, les tres possibles respostes apareixen sempre però en diferent ordre. En conseqüència, s'ha optat per separar cada prioritats en tres subcategories (en funció de l'ordre que apareixen a la resposta).
- Variable innovació. Té cinc subcategories en concordança amb els cinc nivells d'acceptació del prototip de memòria digital automatitzada.

Finalment, s'han creat dues subcategories més (acceptada i denegada) per saber quantes persones els agradaria rebre els resultats de l'enquesta.

Figura 13. Distribució de categories i subcategories per l'anàlisi qualitatiu amb el programa Maxqda.

Categoria	Quantitat
Sistema de códigos	909
Matèries	0
Àmbit_científic	118
Àmbit_tecnològic	25
Nivell	0
Secundària	127
Bachillerat	52
Temporització	0
Sessió_curta	17
Sessió_completa	28
Tecnologies	0
Tradicionals	65
Alternatives	60
Fases	0
Pas1	20
Pas2	29
Pas3	29
Pas4	34
Format memòria	0
Clàssic	59
Actualitzat	19
Cap	3
Procediment	0
Procediment_importància_1	18
Procediment_importància_2	16
Procediment_importància_3	10
Calcular	0
Calcular_importància_1	3
Calcular_importància_2	15
Calcular_importància_3	27
Justificar	0
Justificar_importància_1	23
Justificar_importància_2	14
Justificar_importància_3	8
Innovació	0
Acceptació_1	3
Acceptació_2	5
Acceptació_3	9
acceptació_4	11
Acceptació_5	17
Rebre informació	0
Acceptada	20
Denegada	25
Conjuntos	0

Nota: Elaboració pròpia

Amb la distribució de categories i subcategories de la figura 13 ja se'n pot fer un anàlisi més apropiat que el que ofereix el Microsoft Forms.

D'entrada, les matèries de l'àmbit científic són les que més presència tenen als laboratoris (118 respecte a 25 de l'àmbit tecnològic). El fet que hi hagi més respostes en aquest àmbit, garanteix (en bona mesura) que aquest professorat utilitzi i conegui el mètode científic. En comparació entre els nivells educatius, i tenint en compte que a secundària hi ha 4 nivells i a batxillerat 2, les 52 codificacions a batxillerat també són destacables. És evident, que a nivells educatius més elevats, el rigor en les diferents fases de l'experimentació (i per extensió en tot el mètode científic), serà major que en cursos més baixos on l'alumnat s'està iniciant. A més, la problemàtica en la gestió del temps a la Salle Tarragona que s'ha plantejat a l'inici de la investigació, es podria repetir també en molts altres centres educatius on 27 d'ells han indicat que disposen de menys d'una hora per fer la sessió pràctica.

En referència a l'ús de les tecnologies als laboratoris, s'observa que els ordinadors (subcategoria Tradicionals) és important. Però molts centres educatius les combinen amb altres tipus de tecnologies de manera que les tradicionals (65 codificacions) es complementen amb altres de més alternatives (60 codificacions). Per tant, a priori, coincideix amb la recomanació de Van De Heyde i Siebrits (2020) d'implementar les TD a l'àmbit de les ciències. Aquest anàlisi qualitatiu també ha permès veure en quines fases s'implementen aquestes TD. S'observa que en totes elles tenen presència, essent el pas 4 (redactat de la memòria i conclusions) on més s'utilitzen (34 codificacions). No obstant, destaquen els passos 2 (procediment) i 3 (càlcul i gràfiques) respecte al pas 1 (indagació i recerca). L'anàlisi d'aquesta categoria dona una clara orientació a la pregunta d'investigació PI3 (de la taula 1). No obstant això, el format en què s'entrega la memòria de pràctiques segueix essent majoritàriament en format clàssic (escrita a mà o en document de text).

A la pregunta d'investigació PI4 (de la taula 1) sobre quins passos són els més importants, per un docent, en el desenvolupament d'una pràctica de laboratori, s'han hagut de crear diferents categories i subcategories atès que es tracta d'una resposta ordenada. Destaquen, sobretot, les 23 codificacions en primera instància pels passos de justificar els resultats i redactar les conclusions. Però aquest mateix pas, apareix en 14 codificacions com a segon més important. També són importants les 18 i 16 codificacions que s'han fet en primera i segona instància, respectivament, pel procediment de la pràctica. En canvi, el pas corresponent al càlcul de resultats només s'ha codificat 3 vegades en primera instància i 27 vegades com a última. Per tant, s'observa que el professorat dona molta més importància a la justificació/conclusions i al procediment, que no pas al càlcul de resultats. Per últim, a la pregunta d'investigació PI5 (de la taula 1) sobre l'acceptació d'utilitzar una TD que automatitzi alguns dels passos, la màxima acceptació ha estat codificada 17 vegades. A més, les codificacions entre els dos nivells més alts de codificació, són alhora també les més nombroses (17 i 11 vegades respectivament).

Un cop llegides totes les respostes aportades pels docents dels centres educatius de Catalunya i codificades, s'ha extret un model de mapa de co-ocurrència per proximitat de codi (figura 14). En aquest mapa s'ha considerat visualitzar, només, aquelles codificacions amb un mínim de 15 co-ocurrències. En aquest mapa, les línies més gruixudes representen major relació entre subcategories.

Per últim, els criteris d'importància que considera el professorat respecte els procediments de la pràctica apareixen en tots els seus nivells. El mateix passa amb la importància de justificar i extreure les conclusions, on apareixen també els tres nivells. En canvi, la importància de saber calcular els resultats a partir de les dades obtingudes en el procediment, només apareix en els nivells 2 i 3. És a dir, els docents no atorguen especial importància a saber fer els càlculs durant la sessió pràctica de laboratori. S'entén, per tant, que el càlcul s'ha treballat àmpliament a les classes i es prioritza, a les sessions pràctiques, saber executar el procediment com el saber justificar els resultats i extreure'n les conclusions.

Finalment, a partir de les dades analitzades qualitativament amb el programa Maxqda, s'estableix el següent criteri pel disseny del prototip de memòria digital automatitzada:

1. S'ha decidit treballar amb una pràctica STEM que inclogui conceptes de diferents àmbits de les ciències. Aquesta decisió s'ha pres en funció dels resultats de la variable matèria.
2. Coincidint amb el nombre de respostes més alt de la variable nivell, la pràctica STEM es destina a alumnes de 2n d'ESO.
3. La durada de la pràctica ha de ser inferior a una hora. La majoria de centres educatius fan pràctiques de laboratori amb aquesta temporització. No obstant, s'ha buscat que aquest temps sigui encara més baix per complir amb la problemàtica del context real de l'escola on s'aplicarà i no ha de superar els 40 minuts.
4. Ha de permetre l'ús de l'ordinador amb programari específic per la recollida de dades de la pràctica de laboratori, el càlcul dels resultats de l'experiment i el redactat de la memòria o informe final.
5. La dinàmica de la pràctica s'ha de centrar en els procediments i la justificació de resultats i argumentació de les conclusions. El càlcul dels resultats també s'ha de fer, però l'automatització ha de permetre donar un exemple amb les dades reals dels mateixos alumnes.

4.2 Fase 2: prototipatge

4.2.1 Recerca de TD pel prototip 1

El següent pas en aquesta nova fase de la investigació basada en el disseny ha estat, precisament, trobar una TD capaç de processar els càlculs de la pràctica i mostrar-los en un format similar a un document de text. En altres paraules, que incorpori una capacitat de càlcul i processament de dades important per automatitzar aquest pas de l'experiment del laboratori i que ha de quedar recollit en la memòria.

A continuació es mostren les característiques principals d'alguns dels programes més utilitzats en educació (i altres sectors) que incorporen eines matemàtiques. Per exemple, Matlab & Simulink (Mathworks, s.d.); Labview (National Instruments, s.d.); PTC MathCAD (PTC, s.d.); Octave (Eaton, s.d.); Scilab & Xcos (Dassault Systèmes, s.d.) i S-Math Studio (SMath LLC, s.d.).

Taula 6.
Comparativa entre les diferents opcions de programari per generar la memòria digital.

	Matlab & Simulink	Labview	PTC MathCAD	Octave	Scilab & Xcos	S-Math Studio
Llicència del programari	Pagament	Pagament	Pagament i lliure	Lliure	Lliure	Pagament i lliure
Finalitat	Càlcul matemàtic	Disseny d'instrumentació	Edició de documents matemàtics i càlcul numèric	Càlcul matemàtic	Càlcul matemàtic	Edició de documents matemàtics i càlcul numèric
Entorn d'ús	Educatiu i d'enginyeria	Educatiu i d'enginyeria	Enginyeria	Educatiu i d'enginyeria	Educatiu i d'enginyeria	Enginyeria
Tipus de programació	Per codi i gràfica	Gràfica	Per codi	Per codi	Per codi i gràfica	Per codi
Integració amb:	altres aplicacions, pàgines webs, bases de dades i dispositius electrònics	altres aplicacions, pàgines webs, bases de dades i dispositius electrònics	altres aplicacions i pàgines webs	altres aplicacions, pàgines webs, bases de dades	altres aplicacions, pàgines webs, bases de dades i dispositius electrònics	altres aplicacions i pàgines webs
Actualitzacions del programari	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Nota. Elaboració pròpia

Evidentment, alguns d'aquests entorns ofereixen característiques més específiques que no s'han inclòs a la taula 6 i que es comenten, breument, a continuació:

- Matlab & Simulink: emprat en sistemes de control, intel·ligència artificial, robòtica, comunicacions, processament de senyals...
- Labview: utilitzat en l'adquisició de dades en temps real, sistemes de control, desenvolupament de sistemes de prova, robòtica...
- Scilab & Xcos: per treballar amb sistemes de control, simulacions, robòtica i processament de senyals.

4.2.2 Criteris de funcionalitat

Per establir els requisits que hauria de complir el disseny, s'han tingut presents dos aspectes molt importants: la funcionalitat tecnològica i la funcionalitat pedagògica.

La primera fa referència a com es pot reutilitzar el disseny en diferents tipus de pràctiques dintre de la mateixa matèria o amb d'altres de l'àmbit científicotecnològic. També és important si aquest disseny es pot integrar amb altres eines externes utilitzades en l'àmbit educatiu. En canvi, la funcionalitat pedagògica revisa aquells criteris essencials relacionats amb les metodologies i les estratègies d'aprenentatge.

En primer lloc, s'estableixen els criteris de la funcionalitat tecnològica. Pel disseny del prototip, s'imposa que aquest ha de ser funcional per qualsevol de les pràctiques de laboratori de les matèries de física, tecnologia o robòtica. En el cas de les dues primeres, les mesures fetes pels alumnes s'han de poder passar, manualment, al programa. Cal tenir present, que la majoria d'instruments de mesura utilitzats als laboratoris de física i tecnologia tenen una pantalla on es pot visualitzar el valor de la magnitud mesurada. Però, en general, no tenen un sistema de transferència de dades a un ordinador o a un altre dispositiu. Per exemple, alguns d'aquests instruments més habituals en els laboratoris de física són les balances, els peus de rei, els cronòmetres i els multímetres. En canvi, quan la mesura s'obtingui a través d'un component de robòtica, hauria de tenir una intervenció manual mínima de l'alumnat per passar aquestes magnituds mesurades al programa de la memòria. A més, aquesta transferència de dades s'hauria de fer, en la mesura del possible, en temps real.

En segon lloc, els criteris per la funcionalitat pedagògica també s'han revisat abans de començar el disseny. D'una banda s'ha decidit que, el programari encarregat de generar la memòria s'ha de poder programar per establir el grau d'automatització dels càlculs i resultats finals de l'experiment. D'aquesta manera, el professorat pot preparar un model de memòria digital que s'adapti al perfil de l'alumnat (inclòs alumnes amb necessitats especials). En altres paraules, s'ha de poder configurar per ajustar la quantitat de càlculs que ha de resoldre l'estudiant. D'aquesta manera, es busca adaptar-ho així al temps que exigeix el procediment de l'experiment, la durada de la sessió i el perfil d'alumnat. Per una altra banda, per facilitar el treball dels estudiants, aquesta TD ha de facilitar l'edició del text que necessiti incloure l'alumnat i donar-li format sense moltes complicacions. Així doncs, els alumnes no s'han de trobar amb cap dificultat per redactar les conclusions de l'informe o memòria. A més, si l'experiment ho requereix, l'alumnat ha de poder inserir elements típics d'un editor de text (imatges, taules) per documentar millor el procediment i els resultats.

4.2.3 Selecció inicial per criteris de funcionalitat

Del programari citat anteriorment (taula 6), s'han valorat aquelles opcions que més s'ajusten a la funcionalitat tecnològica i funcionalitat pedagògica dintre de l'entorn educatiu on s'ha d'aplicar.

Així, per exemple, en el cas de la funcionalitat tecnològica s'ha valorat, sobretot, la integració amb altres aplicacions. D'aquesta manera, es possible aplicar-la a diferents tipus de pràctiques de laboratori (disciplines de l'àmbit científicotecnològic). Evidentment, per la seva complexitat, les de robòtica són les més difícils d'implementar pel gran volum de dades que es poden enregistrar.

En al cas de la funcionalitat pedagògica, intervenen més factors. Cal recordar que aquest disseny ha de poder substituir la memòria feta en llibreta o editor de text tradicional (Word, Google docs, Writer) per una memòria amb una TD alternativa fàcil d'editar. Per tant, si l'aparença i l'ús s'assemblen a la d'un editor de text habitual, facilitarà molt que l'alumnat s'adapti al nou entorn de treball. També ha de permetre donar diferents graus d'automatització de la memòria per poder ajustar-se a les necessitats individuals i col·lectives. És a dir, a diferents perfils d'alumnat i a diferents tipologies de pràctiques.

En base als criteris descrits anteriorment, les dues millors opcions han estat PTC MathCAD i S-Math Studio. Les altres opcions no s'han acabat d'ajustar a les necessitats funcionals esmentades pel disseny del prototip. Per exemple, Matlab & Simulink; Labview; Octave i Scilab & Xcos són entorns molt potents pel càlcul numèric, però no compleixen la funcionalitat pedagògica per la dificultat que presenta l'entorn de treball. Dit d'una altra manera, no tenen aparença d'editors de text encara que tinguin l'opció d'incloure un espai, en la zona de treball, destinat a la redacció de conclusions. A més, alguns d'ells tenen preus molt elevats en les llicències d'usuaris. Per acabar, aquests entorns utilitzen un llenguatge propi per executar ordres que resulta difícil d'entendre per alumnes de secundària, inclús per realitzar simples càlculs matemàtics.

En canvi, PTC MathCAD i S-Math Studio són molt més funcionals des del punt de vista pedagògic. Ambdues opcions són editors matemàtics amb aparença i funcionalitat similars a les dels editors de text habituals. Es pot escriure a qualsevol zona del document, tal com es pot fer en un paper o llibreta. A més, qualsevol element afegit (taula, gràfic, imatge...) es pot moure per donar millor llegibilitat a la memòria o informe final.

4.2.4 Selecció final de la TD

Per una banda, el PTC MathCAD ofereix dues opcions de llicència. La versió Prime és la més completa i requereix adquirir una llicència. Per treballar amb la versió Express no cal llicència.

En referència a la primera versió, la Prime ofereix tots els recursos i complements del programari. Les característiques més destacades d'aquesta modalitat i orientada a la finalitat del disseny de la memòria, són:

- Editor d'equacions i fórmules
- Possibilitat d'incloure enllaços externs
- Automatització de càlculs
- Funcions d'àlgebra i de trigonometria
- Gràfiques 2D i 3D
- Programació
- Resolució de sistemes d'equacions
- Interacció amb Excel

En canvi, la versió PTC MathCAD Express només ofereix aquestes característiques durant 30 dies. Passat aquest període de prova, algunes funcionalitats deixen d'estar habilitades. En la modalitat Express, per tant, no cal pagar per una llicència i un cop finalitzat el termini de prova, queden les següents característiques funcionals:

- Editor d'equacions i fórmules
- Automatització de càlculs
- Funcions d'àlgebra i de trigonometria
- Gràfiques 2D

En canvi, l'opció del S-Math Studio és de característiques similars a l'anterior i també ofereix dues versions (de llicència lliure i de pagament).

De la modalitat de pagament n'hi ha dues opcions més: Unlimited i Advanced. Les seves principals característiques són:

- Preparat per treballar i definir unitats de magnituds
- Exportació de tot el full de treball a altres formats de fitxer (PDF, Html, Executable...)
- Depuració de l'anàlisi pas a pas
- Gran varietat d'extensions
- Comprovació automàtica d'actualitzacions del programari i de les extensions
- Acceptat l'ús comercial
- Treball i opcions avançades en el núvol
- Suport tècnic en menys de 24 hores

En canvi, la versió S-Math Studio Free, no inclou algunes d'aquestes característiques, però manté la seva principal funcionalitat:

- Preparat per treballar i definir unitats de magnituds
- Exportació de tot el full de treball a altres formats de fitxer (PDF, Html, Executable...)
- Depuració de l'anàlisi pas a pas
- Gran varietat d'extensions
- Comprovació automàtica d'actualitzacions del programari
- Acceptat l'ús comercial

La clau per triar una d'aquestes opcions final escau en l'ús d'elements de robòtica. En concret, de plaques Arduino UNO i plaques micro:Bit, que són molt habituals en entorns educatius (i que són amb les quals es treballa al centre educatiu on s'aplicarà el disseny del prototip).

La interacció directa entre el PTC MathCAD o el S-Math Studio i les plaques de robòtica no és possible en cap dels dos casos. Ara bé, tant l'Arduino UNO com la micro:Bit tenen l'opció de transferir dades, bidireccionalment, amb els fulls de càlcul de Microsoft. És a dir, es poden enviar dades dels sensors a través de les plaques a un Excel i, en sentit contrari, valors (numèrics o de text) del full de càlcul a les plaques de robòtica per ser tractades o activar actuadors. Aquesta transferència d'informació es pot fer gràcies a un complement que treballa amb els ports de comunicació de l'ordinador. Concretament, es tracta del complement Data Streamer (Microsoft, 2023) pel programa Excel.

Davant d'aquesta necessitat de transferència de dades entre l'entorn de treball i les plaques de robòtica, només una de les opcions resulta viable. En el cas del programa S-Math Studio, l'extensió per treballar amb Excel és gratuïta. En canvi, per l'ús amb el PTC MathCAD caldria agafar la versió Prime (que és de pagament).

Així doncs, s'ha triat el programa S-Math Studio per realitzar el disseny de la memòria que permeti automatitzar alguns dels passos de la pràctica de laboratori. La versió d'aquest programari que s'ha utilitzat en aquest disseny és la 1.0.8348 (amb última actualització el 9 de novembre de 2022).

Si bé aquesta proposta sembla la més apropiada, no s'ha trobat cap referència bibliogràfica que relacioni l'editor S-Math Studio amb l'ús de plaques Arduino UNO. En conseqüència, la fase de disseny de prototips ha de començar per veure la viabilitat real entre ambdues TD.

4.2.5 Disseny i validació del prototip 1

Un cop triada la TD que s'emprarà per dissenyar el model de memòria, s'han buscat quines limitacions pot tenir aquesta. Interessa que el prototip 1 no tingui errors de funcionalitat tecnològica. D'aquesta manera, quan es passi a prototips més avançats, ja se sabrà fins on es pot arribar amb el disseny final.

El primer que s'ha fet és verificar que, realment, es pot executar la transferència de dades de les plaques Arduino UNO a la memòria o informe. Aquest primer pas és molt important, doncs es vol que aquesta TD compleixi amb la funcionalitat tecnològica descrita anteriorment. En el cas d'elements de robòtica, s'hi poden donar situacions amb un conjunt de dades provinents dels sensors que s'han adquirit massivament en un instant molt breu de temps. Es busca, per tant, que el sistema sigui capaç d'assimilar aquesta situació i no es bloquegi. En canvi, en pràctiques de física o tecnologia, aquesta recollida de dades es pot fer manualment, atès que no hi ha un volum tan gran de dades a mesurar i no hi ha instruments que es comuniquin entre ells.

Per la prova del prototip 1 s'ha decidit utilitzar la lectura del pin analògic 0 de la placa Arduino UNO. Les proves test realitzades per determinar la funcionalitat tecnològica real, responen als escenaris mostrats a la taula 7.

Taula 7.
Relació d'accions per provar el funcionament de la comunicació amb el prototip 1

Tipus de comunicació	Acció realitzada	Resultat de la prova
Arduino UNO → Excel	Enviar la dada llegida per l'Arduino a l'Excel	Satisfactori
Excel → Arduino UNO → Excel	Activar la lectura des de l'Excel i enviar la dada mesurada per l'Arduino a l'Excel	Satisfactori
S-Math Studio → Excel	Modificar el valor d'una cel·la de l'Excel des del programa S-Math Studio	Satisfactori
Excel → S-Math Studio	Passar el contingut d'una cel·la de l'Excel al programa S-Math Studio	Satisfactori
S-Math Studio → Excel → Arduino UNO	Modificar el valor d'una cel·la de l'Excel des del programa S-Math Studio per activar la lectura del pin analògic	Satisfactori
S-Math Studio → Excel → Arduino UNO → Excel → S-Math Studio	Modificar el valor d'una cel·la de l'Excel des del programa S-Math Studio per activar la lectura del pin analògic de la placa i retornar el seu valor, primer a l'Excel i després a l'S-Math Studio	Insatisfactori

Nota. Elaboració pròpia

D'aquesta primera prova del prototip 1 se n'extreu la següent conclusió: en el moment en què l'Excel i l'Arduino estableixen una via de transferència a través d'un port de comunicació per a l'enviament de dades, es talla automàticament la comunicació entre l'Excel i el programa S-Math Studio. Per restablir aquesta transferència de dades entre el full de càlcul i l'editor matemàtic, s'ha d'aturar la comunicació entre l'Excel i la placa de robòtica.

Aquesta comunicació es va verificar en una petita pràctica amb alumnat de 1r de batxillerat (16 alumnes) on només s'enviava una dada obtinguda de l'Arduino.

Davant d'aquesta limitació, la millor solució passa per crear una primera comunicació entre l'Excel i la placa Arduino per realitzar la recollida de dades i, posteriorment, iniciar una segona comunicació entre l'editor matemàtic i el full de càlcul per bolcar tota aquesta informació al document de la memòria.

Tot i semblar un procés complicat, en realitat queda molt simplificat si s'utilitzen macros al full de càlcul. Totes aquestes accions es poden executar, per exemple, prement unes tecles o botons incrustats al full de càlcul, de manera que l'entorn es converteixi en un entorn automatitzat i interactiu per a l'alumnat.

4.3 Fase 3: disseny del prototip 2

4.3.1 Objectius de la pràctica STEM i base del prototip 2

Una de les pràctiques de robòtica STEM que s'ha fet a l'escola els últims cursos, i que segueix el mètode científic, és la de l'estudi de la conductivitat de l'aigua. En aquest experiment, els alumnes han de calcular la resistència elèctrica que ofereixen tres mostres diferents d'aigua i deduir, en funció d'aquest paràmetre, quin és la mostra de l'aigua destil·lada, la de l'aigua de l'aixeta i la de l'aigua amb sal. En altres paraules, i des d'un punt didàctic, els objectius d'aquesta sessió pràctica són:

1. Experimentar amb el sensor d'una placa Arduino UNO per obtenir dades corresponents a tres tipus d'aigües diferents.
2. Trobar la resistència elèctrica de cada tipus d'aigua a partir de les dades proporcionades pel sensor, sabent que aquest últim forma part d'un divisor de tensió.
3. Explicar, a partir dels resultats de l'experiment i de les gràfiques, quin tipus d'aigua es correspon amb cada mostra.

Amb el nou enfocament de l'experiment on s'hi fan ús de les TD en las què es basa aquesta investigació, s'han mantingut els objectius didàctics de cursos anteriors.

4.3.2 Disseny del prototip 2

L'electrònica utilitzada a la pràctica consta d'un sensor (dos claus sobre un plàstic) fabricat pels mateixos alumnes i que forma part d'un divisor de tensió. Amb aquest element de construcció pròpia, es fomenta la filosofia Maker i la implicació en el disseny. La placa Arduino UNO està programada per mesurar el voltatge entre borns del sensor quan s'introdueix a la mostra d'aigua. Per minimitzar els errors, de cada tipus d'aigua s'agafen cinc lectures consecutives del voltatge. A continuació, amb el valor mitjà de la tensió de cada mostra, es calcula el valor de la resistència elèctrica de l'aigua. Per aquesta acció s'utilitzen els paràmetres del divisor de tensió (valor de la resistència i tensió d'alimentació del circuit). Calculada aquesta magnitud, l'alumnat ja pot comparar els resultats i determinar quin tipus d'aigua és cada mostra.

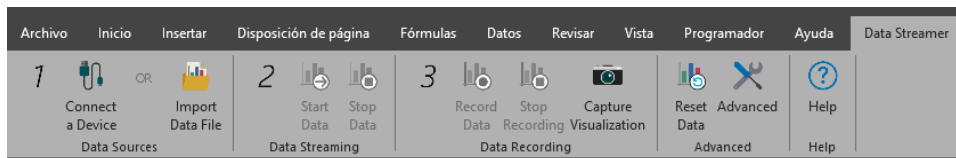
Figura 15.
Exemple de sensor construït per l'alumnat de 2n d'ESO.



Nota. Elaboració pròpia

En conseqüència, per poder donar plena funcionalitat al prototip 2, també s'ha de dissenyar l'entorn de treball per la recollida de dades. Aquest entorn és l'Excel amb el complement Data Streamer que estableix la comunicació entre l'ordinador i la placa Arduino per treballar amb el full de càlcul on es mostraran les i enregistraran les dades del sensor.

Figura 16.
Barra d'eines del complement Data Streamer.

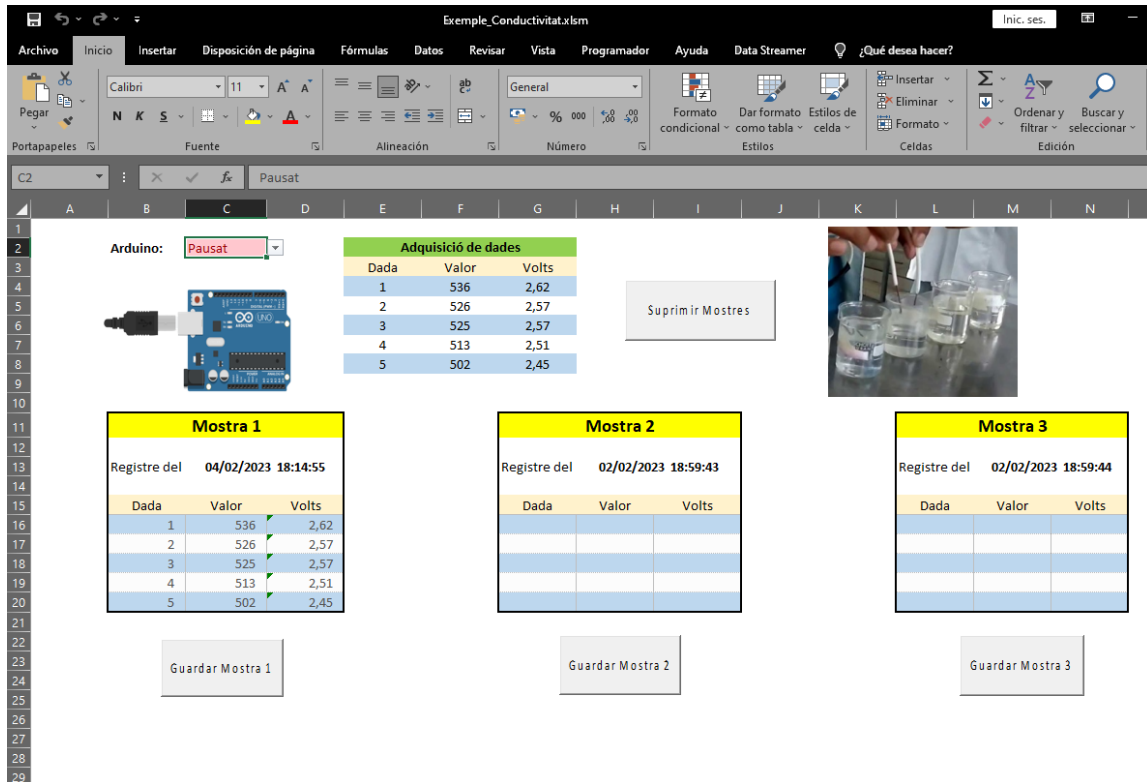


Nota. Elaboració pròpia

L'Excel s'ha dissenyat per facilitar la recollida de dades, en temps real, durant l'experiment. Inclou una llista desplegable per deixar en pausa l'Arduino en el moment de canviar el sensor d'una mostra d'aigua a una altra i reprendre el seu funcionament. També incorpora botons amb programació *Visual Basic for Applications* (VBA) que netegen les dades o desen les enregistrades a la seva taula de mostra corresponent. Aquesta programació, a més, afegeix la data i l'hora en què s'ha efectuat l'experiment. La interfície de treball amb l'Excel i tots aquests elements es pot veure a la figura 17.

Figura 17.

Entorn de treball amb l'Excel creat per la recollida de dades i la interacció amb la placa Arduino UNO.



Nota. Elaboració pròpia

Un cop enregistrades les dades, caldrà enviar-les a la memòria. Aquest pas es fa des del programa S-Math Studio i serà l'entorn que utilitzaran els alumnes per complementar la memòria. Ara bé, com passa sovint en molts programes, la plena funcionalitat s'aconsegueix amb la incorporació de complements. I aquest cas no és una excepció. Tot seguit es mostra el llistat de complements que s'han utilitzat per dissenyar la memòria.

- *Area Region*: facilita eines per donar format i estil al text.
- *Table Region*: estructura les dades en forma de taula.
- *Combo Box List Region*: inclou elements desplegable per seleccionar.
- *Excel (2003+) I/O with recalculation and PNG*: estableix comunicació amb fulls de càlcul Excel per enviar i rebre dades.
- *Image Region*: facilita la incorporació d'imatges al document.
- *Image File Type*: permet seleccionar diferents formats d'imatges.

Les figures 18 i 19 són un exemple d'elements del S-Math Studio que incorpora la memòria. La primera és un element desplegable que serveix per introduir el tema. En canvi, la figura 19 mostra les dades bolcades a la taula de la memòria i els resultats obtinguts de la tensió mitjana i resistència de l'aigua.

Figura 18.

Exemple de pregunta, inclosa a la memòria, generada amb un element desplegable Combo Box List.

Pregunta n°1:

La resistència R_2 de la il·lustració és la resistència variable i el seu valor dependrà de la mostra d'aigua. Quan serà major aquesta resistència?

	▼
Per l'aigua destilada	▲
Per l'aigua de l'aixeta	☰
Per l'aigua de l'aixeta amb sal	▼
Resposta_P1	

Nota. Elaboració pròpia

Figura 19.

Dades reals exportades de l'Excel en format de taula i càlcul automàtic de la resistència elèctrica de la mostra 1.

Taula Mostra 1		
Registre	Valor	Volts
1	536	2.62
2	526	2.57
3	525	2.57
4	513	2.51
5	502	2.45

Dades obtingudes el:
4/2/2023 18:14:55

El valor mitjà del voltatge V_{R1} a la Mostra 1 és: $VR1_{MI} = 2,544$

Coneixent aquest valor i el de la resistència R_1 , ja es pot calcular el valor de la R_2 (la de l'aigua) aïllant-la de la fórmula [F1].

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot (V_{in} - V_{R1})}{V_{R1}} \quad \text{on: } R_1 := 1000 \quad V_{in} := 5 \quad V_{R1} := VR1_{MI} = 2,544$$

$R_2 = 965,41$	Valor de la resistència en Ohms que ofereix l'aigua a la Mostra 1
----------------	---

Nota. Elaboració pròpia

Tot el codi de programació del S-Math Studio encarregat d'importar les dades de l'Excel, distribuir-les per les taules, calcular els resultats a mode d'exemple i generar la gràfica final, s'ha amagat amb contrasenya. Això ha d'evitar que l'alumnat canviï qualsevol paràmetre de programació i la memòria deixi de fer les accions correctament.

4.3.3 Validació prèvia a la implementació del prototip 2

Atès que l'alumnat s'enfronta a una TD nova, s'ha cregut convenient fer una sessió prèvia a la pràctica on s'explica el funcionament de l'entorn de treball i les accions que cal fer. Aquesta sessió ha permès que l'alumnat entengui el funcionament de l'adquisició de dades amb l'Excel i la transferència de valors a la memòria. També s'ha ensenyat a omplir els espais destinats a les conclusions.

En aquesta sessió s'han detectat petits errors en el disseny que s'han hagut de corregir abans de la pràctica real. Per exemple:

- Al full de càlcul no quedava ben identificada la mostra 3.
- La memòria recalculava, constantment, tots els paràmetres i s'ha optat per fer-ho només quan l'alumnat ho demani.
- La gràfica final amb els valors de la resistència de l'aigua s'ha millorat (era poc intuïtiva).

Tots els codis utilitzats i arxius que conformen el prototip 2 es poden consultar als annexos VIII, IX i X. En ells s'hi troben, respectivament, la programació de l'Arduino, la del full de càlcul i la de la memòria.

4.3.4 Consideracions per la implementació del prototip 2

Tot i mantenir els objectius didàctics de la pràctica STEM, el procediment i la metodologia ha canviat lleugerament respecte al mètode tradicional que s'havia fet fins ara. És a dir, amb el nou model de memòria (prototip 2), alguns dels passos que havien de fer els alumnes queden automatitzats. Els canvis més importants respecte a cursos anteriors, on no s'utilitzava aquesta TD, queden recollits a la taula 8.

Taula 8.

Diferències entre el model tradicional i el nou disseny de pràctica amb la TD i el prototip 2 de memòria.

Mètode tradicional	Mètode amb el prototip 2
El control de la placa Arduino es fa de manera manual	El control de la placa Arduino es fa de manera interactiva
Els alumnes llegien els valors directament a l'entorn de programació de l'Arduino i els dicten als companys de pràctica, qui els escriuen manualment tots a la memòria (document Word)	Els valors es visualitzen i es guarden en un Excel amb un simple clic. Quan han acabat l'experiment tots els valors es bolquen automàticament a la memòria (arxiu S-Math Studio)
Els alumnes han de fer tots els càlculs a partir de les dades obtingudes.	Es poden automatitzar tants càlculs com cregui convenient el professor. En aquest exemple es fan a mode d'exemple els de la mostra 1. La resta els haurà de fer l'alumnat.
Els alumnes han de seleccionar les dades que volen que apareguin a les gràfiques i generar-les.	Les gràfiques s'actualitzen automàticament a partir dels valors obtinguts i dels càlculs dels alumnes.

Nota. Elaboració pròpia

4.3.5 Sessió pràctica d'implementació amb el prototip 2

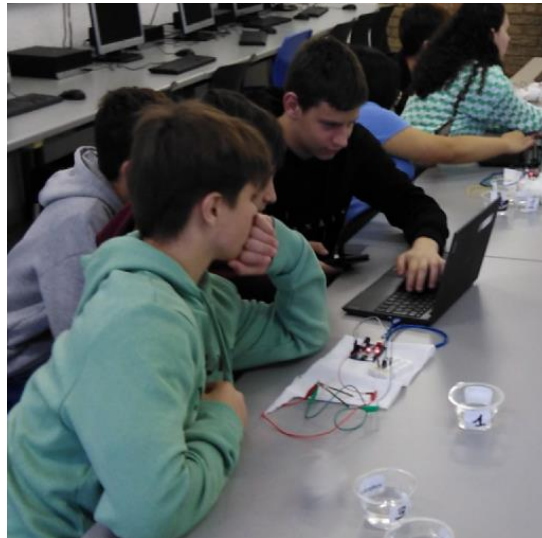
Per tot plegat, i davant de la proposta curricular que es planteja a l'alumnat, aquesta estratègia didàctica s'ajusta a una indagació científica en la seva modalitat guiada. Unes setmanes abans,

l'alumnat va haver de fer un petit treball d'investigació per saber quines són les característiques elèctriques de l'aigua. En base a aquests coneixements previs, es planteja l'experiment.

La pràctica es va dur a terme a l'aula STEM amb orinadors portàtils. Es va prendre aquesta decisió per treballar amb aigua i evitar, d'aquesta manera, possibles vessaments de líquid sobre els teclats i ordinadors de sobretaula. En conseqüència, els alumnes van fer la pràctica en petits grups de tres o quatre alumnes ja que no es disposava de la mateixa quantitat de portàtils que d'ordinadors de sobretaula.

Figura 20.

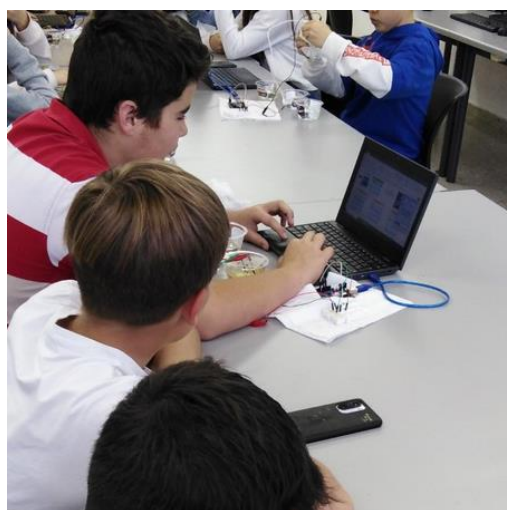
Alumnes de 2n d'ESO fent l'experiment de la conductivitat de l'aigua amb el prototip 2.



Nota. Elaboració pròpia

Figura 21.

Alumnes de 2n d'ESO calculant els valors de la tensió mitjana de les mostres.



Nota. Elaboració pròpia

La sessió prèvia on s'havia explicat la dinàmica de la pràctica i com treballar amb la nova memòria, va facilitar el desenvolupament de la sessió. Aquesta va seguir el següent procediment:

1. Els alumnes van escoltar les indicacions del professor i van respondre a les primeres preguntes de la memòria amb S-Math Studio. Aquestes estaven dissenyades en format opcions desplegable i representaven la hipòtesi de l'experiment. L'alumnat d'aquest curs s'està iniciant en el mètode científic i fer-los escriure una hipòtesi els resulta molt complicat. Per tant, amb aquestes preguntes desplegable es construeix la hipòtesi.
2. Tot seguit, es van omplir els recipients amb les mostres d'aigua i l'alumnat va utilitzar les plaques Arduino per obtenir el voltatge entre els terminals del sensor. La placa ja tenia el programa carregat i amb l'Excel van poder recollir els cinc valors per mostra que es demanaven.
3. Amb l'entorn S-Math Studio van bolcar les dades de l'Excel a la memòria, de manera que tots els valors van quedar distribuïts a les seves corresponents taules. El programa també es va encarregar de donar els resultats, a mode d'exemple, de la mostra 1 (figura 19). A continuació, els alumnes van calcular els valors que els demanava la memòria per les mostres 2 i 3, seguint el mateix procediment de l'exemple.
4. Un cop completats els càlculs, es va actualitzar la memòria i es va mostrar la gràfica amb els valors de la resistència elèctrica que oferia cada mostra d'aigua. Això va permetre que l'alumnat comparés els tres resultats i completés la memòria amb les seves conclusions.

4.4 Fase 4: avaluació del prototip 2

L'enquesta a l'alumnat participant a la investigació va proporcionar la informació necessària per avaluar el funcionament del disseny del prototip 2. Les respostes obtingudes a través del formulari descrit a la secció 3.7.5 d'aquest document, s'han analitzat amb el programa Jasp. S'ha triat una estadística descriptiva, atès que aquesta tècnica s'ajusta a la finalitat de l'avaluació.

Per cadascuna de les cinc variables associades a les preguntes que va respondre l'alumnat s'han mesurat els següents paràmetres:

- *Moda*: valor que es repeteix amb més freqüència entre els valors d'una mateixa variable i, per tant, és el que apareix més vegades.
- *Mitjana*: es calcula sumant tots els valors i dividint aquest resultat pel nombre de mostres.
- *Desviació típica*: valor que quantifica el grau de dispersió dels valors respecte de la mitjana.
- *Coefficient de variació*: ens dona la dispersió relativa de les dades. Es calcula dividint la desviació típica pel valor de la mitjana.
- *Variància*: és la mitjana dels quadrats de les desviacions.

La taula 9 recull els valors d'aquests paràmetres per cadascuna de les variables analitzades: integració, adaptació, càlculs, usabilitat i temps.

Taula 9.
Valors estadístics dels paràmetres referents a les respostes dels alumnes per les cinc variables de l'enquesta.

Estadístics Descriptius					
	Integració	Adaptació	Càlculs	Usabilitat	Temps
Vàlids	90	90	90	90	90
Absents	0	0	0	0	0
Moda	5.000	5.000	4.000	5.000	5.000
Mitjana	4.522	4.322	4.100	4.367	4.489
Desviació típica	0.738	0.776	0.849	0.942	0.811
Coefficient de variació	0.163	0.180	0.207	0.216	0.181
Variància	0.544	0.603	0.720	0.887	0.657

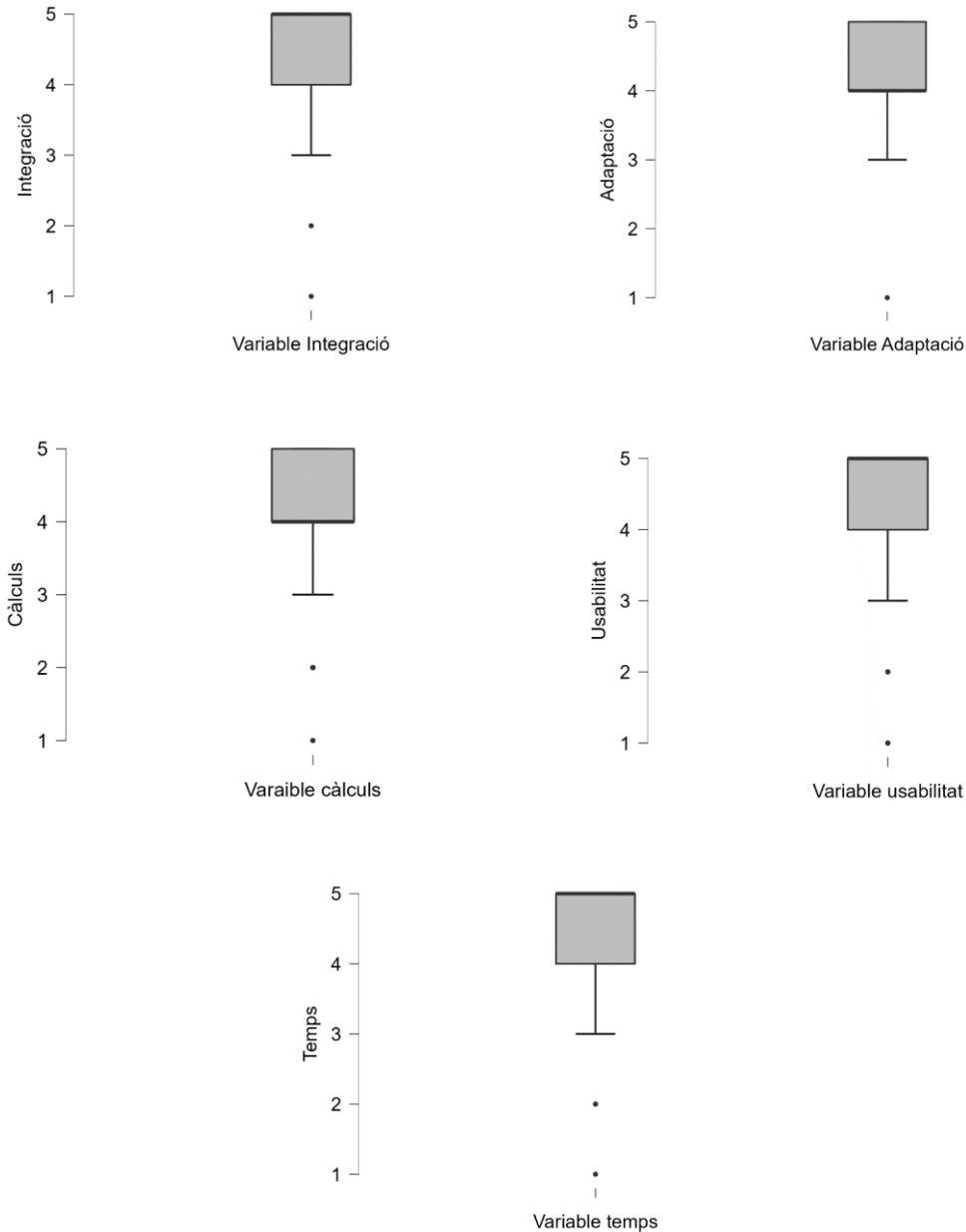
Nota. Elaboració pròpia

S'observa que en totes elles, la Moda o el valor més repetit és 5 a excepció de la variable càlculs. La Mitjana més baixa és, també, per la variable càlcul i el seu valor és 4.1. No obstant, la variable usabilitat és la que ha tingut una major dispersió de valors (paràmetres de la desviació típica i coeficient de variació).

Per entendre millor la concentració de valors, a continuació es mostren les representacions gràfiques dels diagrames de caixa de les variables.

Figura 22.

Diagrames de caixa representatius de les variable integració, adaptació, càlculs, usabilitat i temps, a partir dels resultats de l'enquesta a l'alumnat.



Nota. Elaboració pròpia

Aquests cinc diagrames de caixa, permeten observar que les valoracions més baixes que han fet uns pocs alumnes estan lluny de la majoria de valors dels companys. A l'annex VI es pot consultar el resum de les respostes que genera el mateix formulari i, amb més detall, les taules de freqüència de les respostes per a cadascuna de les variables obtingudes amb el programa Jasp.

Pel que fa a la valoració del professor, està en concordança amb la dels alumnes. Considera que els alumnes no han trobat problemes a l'hora de passar les dades de l'Arduino a la memòria. També constata que només uns pocs alumnes han tingut problemes per entendre els càlculs que

havien de fer i que la quantitat de càlculs ha estat menor que en les pràctiques d'altres cursos. En referència al l'ús del programa S-Math Studio, només alguns alumnes han tingut problemes per entendre el seu funcionament. La sessió s'ha dut a terme com estava previst i el 93.3% dels grups (28 dels 30 que van fer la pràctica), la van acabar en la mateixa sessió. Per últim, el professor ha comentat les seves impressions i ha destacat un factor extern que ha condicionat la dinàmica de dos grups classe.

Cal recordar que només un docent ha participat en la implementació del prototip 2 (i que coincideix amb la persona que duu a terme la investigació).

A l'annex VII es pot llegir la transcripció del comentari del professor que va acompanyar l'alumnat a la sessió pràctica i la valoració.

5. DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

Arribat aquest punt de la investigació i, en base a l'anàlisi de dades recollides a través dels instruments de mesura i la validació del disseny del prototip 2, s'arriben a les següents conclusions:

L'objectiu principal de la investigació s'ha assolit, atès que s'ha pogut dissenyar, desenvolupar, implementar i avaluar, a través de la TD seleccionada, una memòria de les pràctiques en el context de l'àmbit científicotecnològic que s'havia descrit inicialment. Evidentment, aquest objectiu principal s'ha hagut de dividir en altres objectius més específics enllaçats amb les diferents fases de la investigació basada en el disseny.

OE1. Analitzar el context actual de l'ús de TD en els laboratoris de ciències per etapes educatives de secundària i batxillerat.

En referència al primer objectiu específic, la revisió sistemàtica que s'ha fet a la fase inicial d'aquesta investigació, ha demostrat que les TD cada vegada estan més presents a les pràctiques de laboratori d'escoles i instituts. Aquesta afirmació coincideix amb la d'altres autors que s'han mencionat al marc teòric d'aquest TFM (Ditzler *et al.* 2016; Martin i Ertzberger, 2013; Walan, 2022). Aquestes TD són realment variades i es treballen tant de manera individual com col·laborativament. Ara bé, moltes d'elles s'utilitzen com recursos centrats en els procediments però no s'ha acabat d'innovar en la fase del redactat de la memòria o informe final, tan important en el mètode científic. De fet, només s'ha trobat un estudi [A14] amb característiques similars a la d'aquesta investigació. Tanmateix, aquest disseny té un pressupost de 3000 \$. Així doncs, la majoria d'estudis de la revisió sistemàtica que presenten alguna TD, ho fan com a eina de treball en alguns dels passos del mètode científic, tal com afirmen Van De Heyde i Siebrits (2020) que les consideren importants en el procés d'aprenentatge, encara que no sigui la seva finalitat.

L'enquesta als centres educatius de Catalunya, ha aportat la visió d'un context més real en l'ús d'eines i TD a les sessions pràctiques. Majoritàriament, el format de les memòries de pràctiques es manté en llibreta o amb editor de text tradicional. En ambdós casos, la feina que han de fer els alumnes és manual en tot moment i no hi ha cap part automatitzada. A més, les possibilitats de donar exemples de resolució de càlculs amb les mateixes dades obtingudes pels alumnes és nul·la. D'aquesta mateixa enquesta als centres educatius s'extreu la conclusió que saber fer els càlculs finals seria la part menys important de la pràctica (variable "prioritats"). En conseqüència, per optimitzar el temps de la sessió passa, en part, per minimitzar aquests càlculs, sense perdre l'essència de la pràctica. És a dir, automatitzar alguns processos matemàtics per disposar de més temps pel procediment pràctic, l'obtenció de dades i escriure les conclusions de l'experiment.

No obstant això, respecte a l'enquesta, ha sorprès la poca participació que s'ha registrat. Un parell de centres educatius es van posar en contacte per correu electrònic dient que no responien a enquestes d'estudiants. S'entén per tant, que molts altres centres segueixen la mateixa política.

OE2: Estudiar la viabilitat de la TD seleccionada per determinar les possibles limitacions en el seu ús dintre d'una pràctica STEM.

Abans de desenvolupar el prototip 1, ha estat necessari revisar quines TD podrien encaixar en aquesta investigació. S'han establert criteris tecnològics i pedagògics per avaluar 5 propostes, de les quals només 2 s'ajustaven a les necessitats del disseny. Un anàlisi més exhaustiu ha demostrat que l'entorn del S-Math Studio complia amb tots els criteris i, per tant, el disseny es basaria en aquesta TD.

Les proves del prototip 1 han demostrat que és possible generar una memòria digital automatitzada. Però també s'han detectat algunes limitacions tecnològiques que requereixen que hi hagi una vinculació entre diferents TD (Arduino, Excel i S-Math Studio). Tradicionalment, el programa S-Math Studio s'ha utilitzat en presentacions d'entorns professionals d'enginyeria i, puntualment, en entorns acadèmics de nivell universitari. No obstant això, la seva potència de càlcul, la quantitat d'extensions i la seva aparença similar a un editor de text, el converteixen en una molt bona opció per treballar en altres etapes educatives.

OE3: Desenvolupar el model de memòria que, a partir de la TD seleccionada, automatitzarà alguns dels passos del mètode científic que conformen una pràctica STEM.

A partir dels resultats del prototip 1 i de l'enquesta al professorat de ciències a la fase 1 d'aquesta investigació, es planteja el disseny d'una memòria per una pràctica STEM amb alumnes de 2n d'ESO. L'estudi de la conductivitat elèctrica de l'aigua segueix els passos del mètode científic (González, 2003; Repte experimental, 2021). La memòria, per tant, ha de cobrir totes aquestes fases de l'experimentació. Ara bé, per complir amb aquest objectiu ha calgut utilitzar nombrosos complements del S-Math Studio i crear una interfície de treball amb l'Excel i el Data Streamer. Els complements de l'editor matemàtic s'encarreguen de transferir les dades de l'Excel a la memòria, utilitzar taules i elements desplegable. Per al full de càlcul s'han programat botons i desplegables amb el llenguatge *Visual Basic for Applications*. Aquesta interfície es presenta com un entorn completament interactiu per l'alumnat. El disseny de la pràctica i de la memòria també s'ajusta als aspectes claus que ha de tenir qualsevol sessió pràctica segons la descripció de la National Research Council (2012).

OE4: Implementar a l'aula de 2n d'ESO la pràctica de laboratori que utilitzi el nou model de memòria basat en la TD seleccionada.

Abans de fer la sessió pràctica, s'han valorat alguns canvis procedimentals respecte a la mateixa pràctica de cursos anteriors. Els objectius didàctics s'han mantingut tot i la diferència en alguns punts del procediment. L'ús de la nova TD automatitza alguns passos del mètode científic i, per facilitar el treball de l'alumnat, s'ha cregut convenient fer una sessió prèvia per explicar el funcionament de l'Excel i de l'editor S-Math Studio. A més, la part de l'experimentació es fa en petits grups i es dona el protagonisme a l'alumnat tal com suggereix Couso (2014).

La sessió d'implementació es va poder desenvolupar amb total normalitat i sense problemes tècnics. Les diferents correccions que s'havien fet sobre la programació de la memòria i de la interfície de treball amb el full de càlcul, no van generar cap tipus d'incidència.

OE5: Avaluar la funcionalitat i acceptació del prototip per part de l'alumnat de 2n d'ESO en el context real d'una pràctica STEM

Finalment, els resultats obtinguts de l'enquesta als alumnes i al professor es valoren positivament. Els resultats indiquen que la valoració és alta respecte a la funcionalitat tecnològica i pedagògica del nou model de memòria digital. A més, tot plegat es va poder avaluar dintre del període planificat, complint així amb l'objectiu. L'aportació del professor, en forma de comentari, també ha estat molt interessant, doncs s'ha destacat la falta de concentració de l'alumnat per motius externs.

Per últim, es voldria destacar que si bé l'objectiu general s'ha assolit, es té molt present que es tracta d'un prototip i es pot millorar en alguns aspectes. Aquesta opció s'explica amb més detall al següent apartat.

6. LIMITACIONS I PERSPECTIVES DE FUTUR

En la realització d'aquest estudi s'han trobat les següents limitacions:

A nivell d'obtenció de dades no hi ha hagut una mostra prou representativa de docents en actiu de l'àmbit científicotecnològic que hagin donat resposta a l'enquesta de la fase 1. En conseqüència, els resultats només es poden agafar com a orientatius, però no com a conclouents. Per tant, caldria millorar o canviar l'instrument de recollida de dades per saber, amb més certesa, quines són les TD més utilitzades als laboratoris i en quines fases del mètode científic s'utilitzen. A més, amb la limitació de temps que comporta aquest TFM no s'han pogut valorar possibles millors combinacions de termes i operadors booleans aplicats a les bases de dades consultades (o de noves) per la revisió sistemàtica. Aquestes dues millores a la fase inicial de la investigació aportarien una visió més real i completa del context d'aplicació de les TD a les pràctiques de laboratori dels centres educatius.

A nivell tecnològic no ha estat possible la transferència directa de dades (i en temps real) entre l'Arduino i la memòria digital. Ha estat necessari crear una interfície amb el programa Excel per la recollida prèvia de dades abans de passar-les al programa S-Math Studio. Si bé aquesta solució compleix amb l'objectiu principal de la investigació, també es té present que per a cada pràctica on hi intervinguin elements de robòtica, caldrà programar la memòria digital i la interfície de treball amb l'Excel. En canvi, si no hi intervenen elements de robòtica i les dades es poden passar a la memòria manualment, el conjunt se simplifica molt i ja no caldria el full de càlcul per la recollida de dades.

A nivell de temporització, i per la dinàmica de les classes a l'escola la Salle Tarragona, només s'ha pogut fer una prova d'implantació de la memòria digital. Si bé s'ha aplicat a una pràctica STEM i el seu funcionament ha estat correcte, caldria veure com seria aquesta implementació a altres models de pràctiques. A més, tal com s'ha comentat anteriorment, els alumnes de 2n d'ESO s'estan introduint al mètode científic. En aquesta ocasió s'ha facilitat la generació de la hipòtesi amb elements desplegable. Però a altres models de memòries s'hauria de passar a un espai de redactat amb text lliure per aquest pas tan important del mètode científic.

A partir d'aquest treball, es proposen diferents futures línies de recerca a seguir:

- Aplicar millores a les debilitats tecnològiques detectades.
- Aplicar la normativa UNE71362:2020 sobre la qualitat dels materials educatius digitals.
- Extrapolar el programari a altres pràctiques de laboratori.
- Implicar a altres docents i altres centres educatiu per comprovar l'efectivitat i l'acceptació del programari en diferents contextos.
- Implicar a l'alumnat per programar les plaques.
- pràctica STEM

Aquesta interfície interactiva que s'ha creat amb l'Excel i el complement Data Streamer per la pràctica de la conductivitat, també té més marge de millora. Per exemple, s'hi podria afegir una nova macro (programació en VBA) per esborrar les dades d'una única mostra o, també, es podria incloure una cel·la que especifiqui quants valors de la magnitud mesurada es volen adquirir per cada mostra. En el cas del prototip 2 s'ha decidit que siguin cinc valors per cada mostra d'aigua,

però en altres tipus d'experiments, es podria fer que fos l'alumnat qui decidís la quantitat de valors necessaris de la magnitud a mesurar per minimitzar els possibles errors absoluts i relatius.

S'ha observat que a través d'alguns complements i del propi S-Math Studio, la memòria es pot convertir en un arxiu PDF, en pàgina web i, fins i tot, en un executable. Aquesta última opció seria una proposta de millora a tenir en compte per futures línies de treball.

El disseny definitiu de la TD hauria de passar per una avaluació basada en la normativa UNE 71362:2020 (Una Norma Española [UNE], 2020) sobre la qualitat dels materials educatius digitals. Aquesta normativa està formada per 15 criteris, amb els seus corresponents indicadors. Alguns d'aquests ítems s'ajusten als utilitzats a l'enquesta final a l'alumnat després de la implementació del prototip 2. Així, per exemple, la normativa UNE 71362:2020 valora la reusabilitat, l'estabilitat tècnica, l'adaptabilitat i la interactivitat entre d'altres. Caldria, per tant, crear dos instruments de recollida de dades (un pels estudiants i l'altre pel professorat) i s'ajustaria als criteris que estableix aquesta normativa. Evidentment, abans d'utilitzar aquests dos nous instruments de recollida de dades, ambdós també haurien de passar per un procés de validació. En aquesta línia de treball, seria bo implicar altres docents del mateix centre educatiu i d'altres escoles per provar la TD en altres contextos i pràctiques. Aquest seria un dels punts forts per parlar de la reusabilitat i adaptació.

Per últim, aquest cop, la programació de l'Arduino ja ha vingut feta pel docent. Tanmateix, en altres tipus d'activitats, els mateixos estudiants podrien crear el codi de programació de les plaques. Si aquest resultatés complicat, també es podria mirar d'involucrar alumnes de cursos més avançats i amb més experiència per fer-la.

7. REFERÈNCIES

- Abdusselam, M. S., i Kilis, S. (2021). Development and Evaluation of an Augmented Reality Microscope for Science Learning: A Design-Based Research. *International Journal of Technology in Education*, 4(4), 708–728. <https://doi.org/10.46328/ijte.88>
- Aguilera, D., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruiz-Delgado, A., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M., i Perales-Palacios, F. J (2018). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Revista de educación*, 381, 259–284. <https://doi.org/10.4438/1988-592x-re-2017-381-388>
- Ahmed, S., i Parsons, D. (2013). Abductive science inquiry using mobile devices in the classroom. *Computers & Education*, 63, 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.11.017>
- Barab, S., i Squire, K. (2004). Design-Based Research: Putting a Stake in the Ground. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1–14. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_1
- Borrull, A. i Valls C. (2019). *Ciencia low cost : guía práctica de actividades indagatorias sobre ciencias de la vida para secundaria* (1a ed.). Editorial Graó.
- Borrull, A. i Valls C. (2021). Inquiry Laboratory Activity: Investigating the Effects of Mobile Phone on Yeast Viability. *Journal of Turkish Science Education*, 18(2),176-191. <https://www.tused.org/index.php/tused/article/view/93/662>
- Cavas, B., Oral, O., Karagoz, E., i Cavas, P. (2020). More than Playing a Toy: The Effects of Lego Mindstorms on the Students’ Perceptions about Scientists. *Science Education International*, 31(1), 92–103. <https://doi.org/10.33828/sei.v31.i1.10>
- Chekour, M., Zaoui, Y., Anouar, M., i Hafid, M. (2022). Blended Learning and Simulation for Teaching Electrical Concepts to High School Pupils. *Journal of Turkish Science Education* 19(4), 1119-1134. <https://doi.org/10.36681/tused.2022.165>
- CSASE (2022). *L’avaluació de 4t d’ESO 2022*. Generalitat de Catalunya. Departament d’Educació. <https://bit.ly/44oQ33j>
- Coiduras, J., González, J., i Carrera, X. (2016). Ética e investigación en Tecnología Educativa: necesidad, oportunidades y retos. *Revista Interuniversitaria de Educación en Tecnología Educativa*, 0, 34-43. <https://doi.org/10.6018/riite2016/261081>
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica [Pdf]. Recuperat des de <https://bit.ly/3PhukGs>
- Dassault Systèmes (s.d.) *Scilab* (2023.1.0) [Programari d’ordinador]. <https://www.scilab.org/>
- De Benito, B. (2006). Diseño y validación de un instrumento de selección de herramientas para entornos virtuales basado en la toma de decisiones multicriterio [tesis doctoral, Universitat Illes Balears].
- De Benito, B., i Salinas, J. M. (2016). La Investigación Basada en Diseño en Tecnología Educativa. *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 0, 44-59. <https://doi.org/10.6018/riite2016/260631>

- De Jong, T., Sotiriou, S., i Gillet, D. (2014). Innovations in STEM education: the Go-Lab federation of online labs. *Smart Learning Environments*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-014-0003-6>
- DECRET 171/2022, de 20 de setembre, d'ordenació dels ensenyaments de batxillerat, Diari oficial de la Generalitat de Catalunya [DOGC], 8762, de 22 de setembre de 2022 (Espanya) <https://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/8758/1927851.pdf>
- DECRET 175/2022, de 27 de setembre, d'ordenació dels ensenyaments de l'educació bàsica, Diari oficial de la Generalitat de Catalunya [DOGC], 8762, de 29 de setembre de 2022 (Espanya) <https://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/8762/1928585.pdf>
- Departament d'educació (2023). *Situacions d'aprenentatge d'educació bàsica*. Recuperat el 28 d'abril de 2023, des de <https://projectes.xtec.cat/nou-curriculum/educacio-basica/situacions-aprenentatge/>
- Ditzler, C., Hong, E., i Strudler, N. (2016). How Tablets Are Utilized in the Classroom. *Journal of research on technology in education*, 48(3), 181-193. <https://doi.org/10.1080/15391523.2016.1172444>
- Domènech-Casal, J. (2022). Situacions d'Aprenentatge. Idees per al desplegament curricular de les ciències. *Ciències: Revista Del Professorat de Ciències de Primària I Secundària*, 45, 20–32. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencias.469>
- Eaton, J.W. (s.d.). *Octave* (8.3.0) [Programari d'ordinador]. <https://octave.org/>
- Edelson, D. (2002) Design Research: What We Learn When We Engage in Design. *Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 105-121. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1101_4
- Galang, A., Snow, M. A., Benvenuto, P., i Kim, K. S. (2022). Designing Virtual Laboratory Exercises Using Microsoft Forms. *Journal of Chemical Education*, 99(4), 1620-1627. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01006>
- Garmendia Mujika, M., i Guisasola Aranzabal, J. (2015). Alfabetización científica en contextos escolares: El Proyecto Zientzia Live. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 12(2), 294–310. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i2.05
- González, M. E. (2003). ¿Existe un método científico?. *Sigma: Revista de Matemáticas*, 23, 127–132. <https://bit.ly/44rfKAm>
- Izquierdo, M., Caamaño, A. i Sarramona, J. (2016). *Competències bàsiques de l'àmbit científicotecnològic* (2a ed.). Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament. <https://bit.ly/47MO9fU>
- Jiang, S., Tatar, C., Huang, X., Sung, S. H., i Xie, C. (2021). Augmented Reality in Science Laboratories: Investigating High School Students' Navigation Patterns and Their Effects on Learning Performance. *Journal of Educational Computing Research*, 60(3), 777–803. <https://doi.org/10.1177/073563312111038764>
- Johnson, M. L. (2020). Teaching and Tech: An Investigation of the Relationship and Use of Digital Technologies and the Overall Effectiveness of the Classroom Learning Environment. *Peabody Journal of Education*, 95(2), 183–192. <https://doi.org/10.1080/0161956x.2020.1745609>

- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. Joint technical report. Recuperat de: <https://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf>
- Kluge, A. (2019). Learning science with an interactive simulator: negotiating the practice-theory barrier. *International Journal of Science Education*, 41(8), 1071–1095. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1590881>
- Koray, A., i Duman, F. G. (2022). Subject-oriented educational robotics applications with Arduino in science teaching: digital dynamometer activity in accordance with 5E instructional model. *Science Activities*, 59(4), 168–179. <https://doi.org/10.1080/00368121.2022.2093824>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gotzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., i Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: Explanation and elaboration. *BMJ*, 339:b2700. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>
- Martin, F., & Ertzberger, J. (2013). Here and now mobile learning: An experimental study on the use of mobile technology. *Computers & education*, 68, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.04.021>
- Martin-Hansen, L. (2002). Defining inquiry: Exploring the Many Types of Inquiry in the Science Classroom. *The science teacher*, 69(2), 34-37.
- Mathworks (s.d.). *Matlab* (R2023a) [Programari d'ordinador]. <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>
- Maulidah, S. S., i Prima, E. C. (2018). Using Physics Education Technology as Virtual Laboratory in Learning Waves and Sounds. *Journal of Science Learning*, 1(3), 116-121. <https://doi.org/10.17509/jsl.v1i3.11797>
- Microsoft (2023). *Data Streamer* (v4.0) [Programari d'ordinador]. <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=56976>
- NASEM. (2016). *Science Literacy: Concepts, Contexts, and Consequences* (C. E. Snow & K. A. Dibner, Eds.). <https://doi.org/10.17226/23595>
- National Instruments (s.d.). *Labview* (2023 Q3) [Programari d'ordinador]. <https://www.ni.com/es/shop/labview.html>
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press. <https://www.nap.edu/read/13165/chapter/7>
- Nurul, A., i Siew, W. (2018). The Development of an Innovative Resonance Experiment Using Smartphones with Free Mobile Software Applications for Tertiary Education. *International Journal of Education and Development Using Information and Communication Technology*, 14(1), 164–176. Available: <http://ijedict.dec.uwi.edu/viewarticle.php?id=2373>
- OECD. (Ed.). (1999). *Measuring Student Knowledge and Skills: A New Framework for Assessment*. <https://doi.org/10.1787/9789264173125-en>

- OECD. (Ed.). (2017). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving*. <https://doi.org/10.1787/9789264281820-en>
- OECD. (Ed.). (2018). *PISA for Development Assessment and Analytical Framework: Reading, Mathematics and Science*. <https://doi.org/10.1787/9789264305274-6-en>
- OECD (s.d.). *¿Qué es PISA?*. Recuperat el 12 de gener de 2023, des de <https://www.oecd.org/pisa/pisa-es/>
- ONU. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (Res/70/1). Asamblea General. Recuperat el 12 de gener de 2023, des de <https://bit.ly/47OHYrw>
- ONU. (2022). *Cumbre sobre la transformación de la educación: vías de acción*. Recuperat el 4 de febrer de 2023, des de <https://www.un.org/es/transforming-education-summit/action-tracks>
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D, Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S.,... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372:n71. <https://doi.org/doi:10.1136/bmj.n71>
- Papadimitropoulos, N., Dalacosta, K., i Pavlatou, E. A. (2021). Teaching Chemistry with Arduino Experiments in a Mixed Virtual-Physical Learning Environment. *Journal of Science Education and Technology*, 30(4), 550–566. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09899-5>
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., i Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14(14), 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Plomp, T. (2010). Educational Design Research: An Introduction. En T. Plomp i N. Nieveen (Eds.), *An Introduction to Educational Design Research* (pp. 9-35). SLO - Netherlands institute for curriculum development.
- PTC (s.d.). *PTCMathcad* (Prime9) [Programari d'ordinador]. <https://www.mathcad.com/es>
- Renken, M. D., & Nunez, N. (2013). Computer simulations and clear observations do not guarantee conceptual understanding. *Learning and Instruction*, 23, 10–23. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.08.006>
- Real Academia Española. (2022). Ciencia. *Diccionario de la lengua española*. Recuperat el 28 de juliol de 2023, des de <https://dle.rae.es/ciencia>
- Repte experimenta. (2021). *Què és el mètode científic?*. Recuperat el 4 de febrer de 2023, des de <https://www.repteexperimenta.cat/2021/que-es-el-metode-cientific/>

- Reeves, T. (2006). Design research from a technology perspective. En J. Van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney i N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research* (pp. 52-66). Routledge Taylor & Francis e-Library.
- Ruiz-Martín, H., i Bybee, R. W. (2022). The cognitive principles of learning underlying the 5E Model of Instruction. *International Journal of STEM Education*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00337-z>
- Sabariego, M. (2019). La investigación educativa: génesis, evolución y características. En R. Bisquerra (Coord.), *Metodología de la investigación educativa* (6ª ed.) (pp. 49-85). Madrid: La Muralla.
- Schmid, R., Pauli, C., i Petko, D. (2022). Examining the use of digital technology in schools with a school-wide approach to personalized learning. *Educational Technology Research and Development*, 71, 367-390. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10167-z>
- Science Buddies. (s.d.). *Scientific method: steps of the scientific method*. Recuperat el 4 de febrer de 2023, des de <https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/science-fair/steps-of-the-scientific-method>
- SMath LLC. (s.d.). *S-Math Studio* (1.0.8348) [Programari d'ordinador]. <https://smath.com/en-US/view/SMathStudio/summary>
- Sorokoumova, E. A., Puchkova, E. B., Cherdymova, E. I., i Temnova, L. V. (2021). The risks and threats of digital educational technologies and products. *World Journal on Educational Technology*, 13(4), 851–862. <https://doi.org/10.18844/wjet.v13i4.6270>
- Sudha, A., i Amutha, S. (2015). Higher Secondary Learners' Effectiveness towards Web Based Instruction (WBI) on Chemistry. *Universal Journal of Educational Research*, 3(7), 463–466. <https://doi.org/10.13189/ujer.2015.030706>
- UNE. (2020). *Norma UNE 71362:2020*. Recuperat el 18 de juliol de 2023, des de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0063263>
- UNESCO. (1999). *Science for the Twenty-first Century. A new commitment*. <https://bit.ly/3OWjC6u>
- UNESCO. (Ed.). (2021). *Reimagining our futures together. A new social contract for education*. <https://doi.org/10.54675/ASRB4722>
- Van de Heyde, V. i Siebrits, A. (2020). Digital laboratory report writing, assessment and feedback in the 21st century for an extended curriculum programme for physics. *Research in Science & Technological Education*, 40(1), 21-52. <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1775571>
- Van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., i Nieveen, N. (2006). Introducing educational design research. En J. Van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney i N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research* (pp. 3-7). Routledge Taylor & Francis e-Library.
- Vick, B. M., Pollak, A., Welsh, C., i Liang, J. O. (2012). Learning the Scientific Method Using GloFish. *Zebrafish*, 9(4), 226–241. <https://doi.org/10.1089/zeb.2012.0758>

- Vieyra, R., Vieyra, C., Jeanjacquot, P., Marti, A., i Monteiro, M. (n.d.). *Five challenges that use mobile devices to collect and analyze data in physics* [Pdf]. Recuperat el 7 de maig de 2023, des de <https://bit.ly/3OVZ6TT>
- Voit, E. O. (2019). Perspective: Dimensions of the scientific method. *PLOS Computational Biology*, 15(9), e1007279. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007279>
- Walan, S. (2020). Embracing Digital Technology in Science Classrooms—Secondary School Teachers' Enacted Teaching and Reflections on Practice. *Journal of Science Education and Technology*, 29, 431–441. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09828-6>
- Walker, D. (2006). Toward productive design studies. En J. Van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney i N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research* (pp. 8-13). Routledge Taylor & Francis e-Library.
- Wang, T., Kao, C., i Dai, Y. (2019). Developing a web-based multimedia assessment system for facilitating science laboratory instruction. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35, 529-539. <https://doi.org/10.1111/jcal.12357>
- Watters, J. D., Hill, A., Weinrich, M., Supalo, C., i Jiang, F. (2021). An Artificial Intelligence Tool for Accessible Science Education. *Journal of Science Education for Students with Disabilities*, 24(1), 1–14. <https://doi.org/10.14448/jsesd.13.0010>
- Xie, C., Li, C., Ding, X., Jiang, R., i Sung, S. (2021). Chemistry on the Cloud: From Wet Labs to Web Labs. *Journal of Chemical Education*, 98(9), 2840–2847. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00585>

Annex I. Validació enquesta dels centres educatius

Validació de l'enquesta que s'ha preparat per enviar als centres educatius. Les dades de cada variable es mostren amb una primera taula d'estadística descriptiva i una segona taula amb la pregunta original i els comentaris que han aportat els experts.

Taula 10.

Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació matèria.

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	8	8	8
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.750	4.875	4.875
Desviació típica	0.463	0.354	0.354
Coefficient de variació	0.097	0.073	0.073
Variància	0.214	0.125	0.125

Nota. Elaboració pròpia

Taula 11.

Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació matèria

Pregunta 1	Quines matèries realitzen pràctiques de laboratori amb alumnes a la vostra escola o institut?
Comentaris: 2	"Potser afegiria el camp "altres" per si de cas té un altre nom al centre com "robòtica"." "En quines matèries es realitzen pràctiques de laboratori..."

Nota. Elaboració pròpia

Taula 12.

Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació curs

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	8	8	8
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.750	4.875	4.875
Desviació típica	0.463	0.354	0.354
Coefficient de variació	0.097	0.073	0.073
Variància	0.214	0.125	0.125

Font: elaboració pròpia

Taula 13.

Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació curs

Pregunta 2	Quins grups classe fan aquestes pràctiques?
Comentaris: 1	“No estàs preguntant per grup classe, sino per nivell. Grup classe seria 1r ESO B, per exemple.”

Nota. Elaboració pròpia**Taula 14.**

Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació temporització

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	8	8	8
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.625	4.750	4.625
Desviació típica	0.518	0.463	0.518
Coefficient de variació	0.112	0.097	0.112
Variància	0.268	0.214	0.268

Nota. Elaboració pròpia**Taula 15.**

Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació temporització

Pregunta 3	Quant dura, aproximadament, una pràctica de laboratori?
Comentaris: 3	<p>“Diria "Quina durada mitja té una pràctica de laboratori?". també afegiria 30 i 45 min, o camp obert indicant que reculls la dada en minuts.”</p> <p>“A l'objectiu de l'instrument no s'esmenta res de la durada d'aquestes pràctiques de laboratori, s'ha de tenir clar si és rellevant per a l'anàlisi i, en tal cas, com s'analitzarà. També em surgeix el dubte de si és possible que aquestes pràctiques tinguessin una durada distinta de les opcions de resposta que es donen. Potser interessaria afegir alguna opció extra perquè es pugui donar una resposta diferent a les plantejades.”</p> <p>“Potser ha de ser camp obert o tenir un camp que permeti explicar més detalls”</p>

Nota. Elaboració pròpia

Taula 16.

Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació tecnologies

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	8	8	8
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.375	4.625	4.750
Desviació típica	0.916	0.744	0.707
Coefficient de variació	0.209	0.161	0.149
Variància	0.839	0.554	0.500

Nota. Elaboració pròpia**Taula 17.**

Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació tecnologies

Pregunta 4	Quines tecnologies digitals utilitza l'alumnat a les pràctiques de laboratori?
Comentaris: 2	<p>“Ull amb parlar de tecnologies digitals on tens dispositius i software. Perquè podries afegir ordinadors portàtils o de sobre taula, PDI, etc.”</p> <p>“Considero que esta pregunta se debe revisar. Hay una mezcla en las respuestas y a lo mejor estaría bien dividir esta pregunta. Una pregunta sobre el tipo de tecnología digital en sí, y otra sobre recursos tecnológicos, o herramientas. No queda claro el tipo de información que se necesita para cubrir los objetivos de investigación.”</p>

Nota. Elaboració pròpia**Taula 18.**

Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació fases

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	8	8	8
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.750	4.875	4.875
Desviació típica	0.463	0.354	0.354
Coefficient de variació	0.097	0.073	0.073
Variància	0.214	0.125	0.125

Nota. Elaboració pròpia

Taula 19.

Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació fases

Pregunta 5	A quines fases de les pràctiques s'utilitzen, majoritàriament, aquestes tecnologies digitals?
Comentaris: 1	"S'haurien de poder seleccionar totes les fases, si s'escau, i afegir un camp obert per si n'hi ha altres moments o situacions."

Nota. Elaboració pròpia**Taula 20.**

Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació format memòria

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	8	8	8
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.750	4.375	4.375
Desviació típica	0.463	0.916	0.916
Coefficient de variació	0.097	0.209	0.209
Variància	0.214	0.839	0.839

Nota. Elaboració pròpia**Taula 21.**

Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació format memòria

Pregunta 6	Amb quin format es demana, generalment, que els alumnes entreguin la memòria final de la pràctica?
Comentaris: 4	"Diria "Amb quin format es demana normalment el lliurament de la pràctica de l'aboratori per part dels alumnes?"." "Se podria indagar sobre el tipo de recurso o herramienta tecnologica." "A l'objectiu de l'instrument no s'esmenta aquesta variable, per tant, entenc que aquest és més ampli. És important tenir clar què és el que ens interessa saber i amb quin objectiu." "En què/En quin format es demana...."

Nota. Elaboració pròpia

Taula 22.

Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació prioritats

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	8	8	8
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.000	3.875	3.875
Desviació típica	1.195	1.246	1.246
Coefficient de variació	0.299	0.322	0.322
Variància	1.429	1.554	1.554

Nota. Elaboració pròpia**Taula 23.**

Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació prioritats

Pregunta 7	Com a docent, ordena de més important a menys, les fases que ha de saber fer l'alumnat al laboratori
Comentaris: 6	<p>“Les opcions de resposta no són fases, s'han de considerar tasques.”</p> <p>“El cuestionario trata sobre el uso de las tecnologías en los laboratorios de ciencias. , y esta pregunta parece que no se relaciona.”</p> <p>“no acabo de ver la relación de esta pregunta con el objetivo del trabajo”</p> <p>“Tampoc tinc clara la pertinència d'aquesta pregunta respecte a l'objectiu plantejat, necessitaria una mica més d'informació per poder valorar la qüestió adequadament.”</p> <p>“Si les pra`ctiques es duen a terme en el marc de la indagació també es improtant com fan el disseny experimental ja que no se'ls dona la recepta a seguir sinó que ho han de desenvolupar els alumnes.”</p> <p>“Com a docent, ordena de més important a menys, les accions que ha de ser capaç de realitzar l'alumnat al laboratori”</p>

Nota. Elaboració pròpia**Taula 24.**

Validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació innovació

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	8	8	8
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.250	4.625	4.625
Desviació típica	1.165	1.061	1.061
Coefficient de variació	0.274	0.229	0.229
Variància	1.357	1.125	1.125

Nota. Elaboració pròpia

Taula 25.

Comentaris validació enquesta a centres educatius, variable d'investigació innovació

Pregunta 8	Consideraries apropiat tenir una tecnologia digital amb la qual, introduint les dades obtingudes a la fase pràctica i els paràmetres inicials, generi automàticament tots els càlculs dels resultats finals, els gràfics i deixi un espai per escriure les conclusions?
Comentaris: 5	<p>“Espero que la resposta dels docents a aquesta pregunta sigui que no, que així els alumnes també fan aquesta fase, almenys en el seu procés de formació ;)”</p> <p>“La innovació s'hauria de plantejar com a resposta a una necessitat o problema.”</p> <p>“El cuestionario trata sobre el uso de las tecnologías en los laboratorios de ciencias. Del total de preguntas, solo una (1) indaga sobre el tema tecnológico. Es importante precisar a quién va dirigido el cuestionario, al docente o al estudiante. Reflexionar sobre ¿Está claro qué tipo de información se necesita para generar esa memoria digital de prácticas?”</p> <p>“no entiendo muy bien la pregunta y la relación con el objetivo,”</p> <p>“Potser el tipus de resposta més adequat per a aquesta pregunta seria una escala Likert com la d'aquest qüestionari (per exemple 1-gens apropiat / 5-molt apropiat). A més, no sé si interessaria deixar un espai al final per comentaris i/o suggerències respecte a aquesta tecnologia digital que proposes.”</p>

Nota. Elaboració pròpia

El resum de les valoracions que han fet els experts en tecnologia educativa per validar aquest instrument de recollida de dades, es pot consultar a:

[Respostes validació enquesta a centres.pdf](#)

Un cop revisades les aportacions d'aquest grup d'experts, s'han fet algunes modificacions. El Formulari adaptat després de la revisió es pot consultar al següent enllaç:

[Enquesta pràctiques de laboratori.pdf](#)

Annex II. Missatge a centres educatius

Missatge als equips directius dels centres educatius on es demana participar a l'enquesta.

Benvolgut/da director/a.

Em dic Jordi Gavaldà i soc estudiant del màster en tecnologia educativa: e-learning i gestió del coneixement a la Universitat Rovira i Virgili. Actualment, estic fent un treball d'investigació on necessito saber l'ús de les tecnologies digitals als laboratoris de ciències a les escoles i instituts de Catalunya. L'objectiu principal serà dissenyar un prototip de memòria digital de les pràctiques que permeti automatitzar alguns passos d'aquesta fase. Per aquest motiu, m'agradaria que fes extensiu, entre el professorat del seu centre educatiu que imparteixi alguna matèria de l'àmbit de les ciències, aquest correu amb l'enllaç a una breu enquesta que es pot respondre en menys de 5 minuts.

<https://forms.office.com/e/VdW24kuNP3>

L'enquesta no demana cap dada personal dels alumnes ni del professorat i ha estat validada per la tutora i altres membres de la URV. Les respostes es guarden a un full de càlcul emmagatzemat en una carpeta privada per garantir la seva confidencialitat. Si ho desitja, hi ha l'opció de rebre informació dels resultats de l'enquesta deixant, voluntàriament, el seu correu electrònic.

Moltes gràcies per la seva col·laboració.

Atentament.

Jordi Gavaldà

Annex III. Validació enquesta del prototip 2

Validació de l'enquesta que s'ha preparat per l'alumnat i professorat que han participat a la pràctica de laboratori amb la prova prototip 2. Les dades de cada variable es mostren amb una primera taula d'estadística descriptiva i una segona taula amb la pregunta original i els comentaris que han aportat els experts.

Taula 26.

Validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació integració

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	7	7	7
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.857	4.857	4.857
Desviació típica	0.378	0.378	0.378
Coefficient de variació	0.078	0.078	0.078
Variància	0.143	0.143	0.143

Nota. Elaboració pròpia

Taula 27.

Comentaris validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació integració

Pregunta 1	T'ha resultat fàcil passar les dades mesurades per l'Arduino a la memòria?
Comentaris: 1	"Tal vez concretar o aclarar qué significa fàcil"

Nota. Elaboració pròpia

Taula 28.

Validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació adaptació

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	7	7	7
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.286	4.857	4.714
Desviació típica	1.113	0.378	0.488
Coefficient de variació	0.260	0.078	0.104
Variància	1.238	0.143	0.238

Nota. Elaboració pròpia

Taula 29.

Comentaris validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació adaptació

Pregunta 2	Et resulta útil que el programa et doni algun exemple de càlcul amb els teus propis valors de l'experiment?
Comentaris: 1	"Explicar el término adaptación, no se entiende en relación a la pregunta"

Nota. Elaboració pròpia

Taula 30.

Validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació càlculs

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	7	7	7
Absents	0	0	0
Moda	^a 4.000	5.000	5.000
Mitjana	4.286	4.714	4.714
Desviació típica	0.756	0.488	0.488
Coefficient de variació	0.176	0.104	0.104
Variància	0.571	0.238	0.238

^a Existeix més d'una moda; només s'informa de la primera

Nota. Elaboració pròpia

Taula 31.

Comentaris validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació càlculs

Pregunta 3	Has hagut de fer pocs càlculs abans d'escriure la conclusió del resultat de l'experiment?
Comentaris: 3	"Potser és molt genèric "fer pocs càlculs" si es pugués concisar més."
	"Igual es podria posar directament (Per que sigui més breu i clara): Has hagut de fer pocs càlculs abans d'arribar a les conclusions de l'experiment?"
	"La pregunta em resulta una mica ambigua, quants són "pocs càlculs"? Potser cal acotar més o preguntar d'una altra manera. Per exemple, si els ha portat molt/poc esforç fer els càlculs abans de..."

Nota. Elaboració pròpia

Taula 32.

Validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació usabilitat

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	7	7	7
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.571	4.857	5.000
Desviació típica	1.134	0.378	0.000
Coeficient de variació	0.248	0.078	0.000
Variància	1.286	0.143	0.000

Nota. Elaboració pròpia

Taula 33.

Comentaris validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació usabilitat

Pregunta 4	Consideres que t'ha resultat fàcil completar la memòria amb el programa SMath Studio?
Comentaris: 2	"Aqui es podrien fer més preguntes sobre usabilitat i acceptació / satisfacció com les 12 del SUS..."
	"idem que antes"

Nota. Elaboració pròpia

Taula 34.

Validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació temps

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	7	7	7
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.857	4.857	5.000
Desviació típica	0.378	0.378	0.000
Coeficient de variació	0.078	0.078	0.000
Variància	0.143	0.143	0.000

Nota. Elaboració pròpia

Taula 35.

Comentaris validació enquesta a l'alumnat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació temps

Pregunta 5	En general, consideres que amb aquesta tecnologia es redueix el temps per elaborar la memòria de la pràctica?
Comentaris: 2	“En general crec que els 5 ítems no haurien d'estar en format pregunta sinó en afirmacions que l'alumnat marcarà si està en més o menys acord.”
	“Igual tecnologia és un terme massa general?”

Nota. Elaboració pròpia

En aquest punt comença la secció de les preguntes al professorat. Tal com s'ha esmentat anteriorment, s'ha aprofitat el mateix formulari per fer aquesta validació.

Taula 36.

Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació integració

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	7	7	7
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.857	4.857	5.000
Desviació típica	0.378	0.378	0.000
Coefficient de variació	0.078	0.078	0.000
Variància	0.143	0.143	0.000

Nota. Elaboració pròpia

Taula 37.

Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació integració

Pregunta 1	Han tingut problemes els alumnes per passar les dades mesurades per l'Arduino a la memòria?
Comentaris: 1	“No posaria l'ítem en format pregunta.”

Nota. Elaboració pròpia

Taula 38.

Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació adaptació

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	7	7	7
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	5.000	5.000	5.000
Desviació típica	0.000	0.000	0.000
Coefficient de variació	0.000	0.000	0.000
Variància	0.000	0.000	0.000

Nota. Elaboració pròpia

Taula 39.

Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació adaptació

Pregunta 2	Els alumnes han entès els procediments dels càlculs a partir de l'exemple que genera la memòria
Comentaris: 0	

Font: elaboració pròpia

Taula 40.

Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació càlculs

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	7	7	7
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.857	4.857	4.857
Desviació típica	0.378	0.378	0.378
Coefficient de variació	0.078	0.078	0.078
Variància	0.143	0.143	0.143

Nota. Elaboració pròpia

Taula 41.

Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació càlculs

Pregunta 3	Han hagut de fer menys càlculs de l'habitual per obtenir els resultats finals en comparació amb la memòria tradicional que es feia abans?
Comentaris: 2	"Idem que comentari per a alumnat"
	"No format pregunta"

Font: elaboració pròpia

Taula 42.

Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació usabilitat

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	7	7	7
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	5.000	5.000	5.000
Desviació típica	0.000	0.000	0.000
Coeficient de variació	0.000	0.000	0.000
Variància	0.000	0.000	0.000

Nota. Elaboració pròpia

Taula 43.

Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació usabilitat

Pregunta 4	Han tingut molts problemes els alumnes per entendre el funcionament del programa SMath Studio?
Comentaris: 2	"Idem"
	"No format pregunta"

Nota. Elaboració pròpia

Taula 44.

Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació temps

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	7	7	7
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	4.571	4.857	4.857
Desviació típica	0.787	0.378	0.378
Coeficient de variació	0.172	0.078	0.078
Variància	0.619	0.143	0.143

Nota. Elaboració pròpia

Taula 45.

Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació temps

Pregunta 5	Quin percentatge de grups han aconseguit acabar la pràctica i la memòria en aquesta mateixa sessió?
Comentaris: 2	"Aquesta informació en % no la treus d'altres fonts experimentals?"
	"Seria ha aconseguit? Percentatge seria singular?"
	"Tal vez indicar los intervalos y poner en la pregunta "el porcentaje que estimas que..."

Nota. Elaboració pròpia

Taula 46.

Validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació observacions

Estadístics Descriptius

	Univocitat	Pertinença	Rellevància
Vàlids	7	7	7
Absents	0	0	0
Moda	5.000	5.000	5.000
Mitjana	5.000	4.857	5.000
Desviació típica	0.000	0.378	0.000
Coefficient de variació	0.000	0.078	0.000
Variància	0.000	0.143	0.000

Nota. Elaboració pròpia

Taula 47.

Comentaris validació enquesta al professorat participant en la implantació del prototip 2, variable d'investigació observacions

Pregunta 6	En aquesta part es poden escriure comentaris i observacions que es vulguin fer sobre el desenvolupament de la sessió?
Comentaris: 0	

Nota. Elaboració pròpia

El resum de les valoracions que han fet els experts en tecnologia educativa per validar aquest instrument de recollida de dades, es pot consultar a:

[Respostes validació enquesta a l'alumnat i professorat \(implementació prototip 2\).pdf](#)

Un cop revisades les aportacions dels experts, s'han fet algunes modificacions. Els formularis adaptats després de la revisió es poden consultar als següents enllaços:

[Enquesta alumnes.pdf](#)

[Enquesta professorat STEM 2nESO.pdf](#)

Annex IV. Referències dels articles de la revisió sistemàtica

Tot el procés de revisió sistemàtica s'ha documentat en un arxiu Excel. En els diferents fulls del llibre es pot veure la implementació del diagrama de flux corresponent a la figura 12 i els ítems avaluats.

[revisió PRISMA.xlsx](#)

En aquest mateix annex es mostren les referències dels articles finals de la revisió sistemàtica i que s'han resumit a la taula 5.

- [A1] Batty, L., i Reilly, K. (2022). Understanding barriers to participation within undergraduate STEM laboratories: towards development of an inclusive currículum. *Journal of Biological Education*. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.2012227>
- [A2] Carreño, M. J., Castro-Alonso, J. C., i Gallardo, M. J. (2021). Interest in Physics After Experimental Activities with a Mobile Application: Gender Differences. *International Journal of Science and Mathematics Education volume 20*, 1841–1857. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10228-4>
- [A3] Dolino, L.G (2020). Insights from Teaching Chemistry Writing Online. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 3312–3317. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00832>
- [A4] Erduran, S., El Masri, Y., Cullinane, A., i Ng, Y. (2020). Assessment of practical science in high stakes examinations: a qualitative analysis of high performing English-speaking countries. *International Journal of Science Education*, 42(9), 1544–1567. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1769876>
- [A5] Gericke, N., Högström, P., i Wallin, J. (2023). A systematic review of research on laboratory work in secondary school. *Studies in Science Education*, 59(2), 245-285. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2090125>
- [A6] Hike, N., i Hughes-Phelan, S. J. (2020). Using the Science Writing Heuristic to Support NGSS-Aligned Instruction. *Journal of Chemical Education*, 97(2), 358-367. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00472>
- [A7] Landicho, C.J.B. (2020). Secondary school students' attitudes and practices toward research writing and reporting in science. *Issues in Educational Research*, 30(1), 156-168. <http://www.iier.org.au/iier30/landicho.pdf>
- [A8] Lo, H. C., (2013). Design of Online Report Writing Based on Constructive and Cooperative Learning for a Course on Traditional General Physics Experiments. *Educational Technology & Society*, 16(1), 380–391.
- [A9] Kranz, J., Baur, A., i Möller, A. (2023). Learners' challenges in understanding and performing experiments: a systematic review of the literature. *Studies in Science Education*, , 59(2), 321–367. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2138151>
- [A10] Schiffer, J. M., Lyman, J., Byrd, D., Silverstein, H., i Halls, M. D. (2020). Microplastics Outreach Program: A Systems-Thinking Approach To Teach High School Students about

the Chemistry and Impacts of Plastics. *Journal of Chemical Education* 97(1), 137-142.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00249>

- [A11] Sood, S., Fang, S., Chengyu Wang, A., Luong, T., Keonhyoung Kim, J., Sinha, A., Jerome, J., i Rafailovich, M. H. (2023). Polystyrene Laboratory Analysis: A Hands-On Experience for High School Students to Determine the Molecular Weight of Polystyrene Through Spin Casting. *Journal of Chemical Education*, 100(2), 900-906.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00987>
- [A12] Van de Heyde, V. i Siebrits, A. (2022). Digital laboratory report writing, assessment and feedback in the 21st century for an extended curriculum programme for physics. *Research in Science & Technological Education*, 40(1), 21-52.
<https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1775571>
- [A13] Whitehead, D., i Murphy, F. (2014). "Mind Your Language" High School Students Write laboratory reports. *Journal of adolescent & Adult literacy*, 57(6), 492-502.
<https://doi.org/10.1002/jaal.272>
- [A14] Zhang, Q., Brode, L., Cao, T, i Thompson, J. E. (2017). Learning Laboratory Chemistry through Electronic Sensors, a Microprocessor, and Student Enabling Software: A Preliminary Demonstration. *Journal of Chemical Education*, 94(10), 1562-1566.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00172>

Annex V. Resum de les respostes a l'enquesta dels centres educatius

L'enllaç que es mostra a continuació és el resum que genera el mateix formulari a les respostes dels professors dels centres educatius de Catalunya que han participat a la fase 1 de la investigació.

[Respostes a Enquesta pràctiques de laboratori.pdf](#)

L'anàlisi qualitatiu complet es pot llegir a l'apartat 4.1.2 d'aquest document.

Annex VI. Resum de les respostes de l'enquesta a l'alumnat

A continuació es mostren les taules de freqüències de les variables que s'han analitzat corresponents a l'enquesta dels alumnes que ha participat en la implementació del prototip 2.

Taula 48.

Freqüència i percentatge de la variable d'investigació integració, en les respostes de l'alumnat participant en la implementació del prototip 2

Freqüències per Integració				
Integració	Freqüència	Percentatge	Percentatge Vàlid	Percentatge Acumulat
1	1	1.111	1.111	1.111
2	1	1.111	1.111	2.222
3	4	4.444	4.444	6.667
4	28	31.111	31.111	37.778
5	56	62.222	62.222	100.000
Absent	0	0.000		
Total	90	100.000		

Nota. Elaboració pròpia

Taula 49.

Freqüència i percentatge de la variable d'investigació adaptació, en les respostes de l'alumnat participant en la implementació del prototip 2

Freqüències per Adaptació				
Adaptació	Freqüència	Percentatge	Percentatge Vàlid	Percentatge Acumulat
1	1	1.111	1.111	1.111
3	11	12.222	12.222	13.333
4	35	38.889	38.889	52.222
5	43	47.778	47.778	100.000
Absent	0	0.000		
Total	90	100.000		

Nota. Elaboració pròpia

Taula 50.

Freqüència i percentatge de la variable d'investigació càlculs, en les respostes de l'alumnat participant en la implementació del prototip 2

Freqüències per Càlculs

Càlculs	Freqüència	Percentatge	Percentatge Vàlid	Percentatge Acumulat
1	1	1.111	1.111	1.111
2	3	3.333	3.333	4.444
3	13	14.444	14.444	18.889
4	42	46.667	46.667	65.556
5	31	34.444	34.444	100.000
Absent	0	0.000		
Total	90	100.000		

Nota. Elaboració pròpia

Taula 51.

Freqüència i percentatge de la variable d'investigació usabilitat, en les respostes de l'alumnat participant en la implementació del prototip 2

Freqüències per Usabilitat

Usabilitat	Freqüència	Percentatge	Percentatge Vàlid	Percentatge Acumulat
1	3	3.333	3.333	3.333
2	2	2.222	2.222	5.556
3	5	5.556	5.556	11.111
4	29	32.222	32.222	43.333
5	51	56.667	56.667	100.000
Absent	0	0.000		
Total	90	100.000		

Nota. Elaboració pròpia

Taula 52.

Freqüència i percentatge de la variable d'investigació temps, en les respostes de l'alumnat participant en la implementació del prototip 2

Freqüències per Temps

Temps	Freqüència	Percentatge	Percentatge Vàlid	Percentatge Acumulat
1	1	1.111	1.111	1.111
2	2	2.222	2.222	3.333
3	6	6.667	6.667	10.000
4	24	26.667	26.667	36.667
5	57	63.333	63.333	100.000
Absent	0	0.000		
Total	90	100.000		

Nota. Elaboració pròpia

Finalment, en aquest enllaç es pot veure un resum de les respostes que genera el formulari.

[Respostes Enquesta alumnes.pdf](#)

L'anàlisi complet es pot consultar a l'apartat 4.4 d'aquest document.

Annex VII. Resposta del professor sobre la implementació del prototip 2

Tot seguit, es pot llegir la resposta en forma de comentaris i aportacions que va fer el docent que va supervisar la sessió pràctica de laboratori amb els alumnes i el prototip 2. Aquets comentaris s'han obtingut a través del formulari que el professor va respondre.

“Els diferents grups d’alumnes han sabut treballar de manera autònoma. Les explicacions de com utilitzar les diferents tecnologies digitals durant la pràctica i del procediment a seguir que es van fer la setmana anterior a la sessió de laboratori, van facilitar molt aquesta autonomia. Es va demanar als diferents membres dels grups que treballassin cooperativament per resoldre la pràctica. Al no disposar de portàtils suficients, cada alumne va agafar les dades d’una mostra d’aigua diferent. Així doncs, la part procedimental va quedar coberta per tothom. La tasca d’omplir la memòria la van treballar conjuntament, aportant entre tots els membres del grup els càlculs i la discussió final de les conclusions. En general, el disseny de la pràctica i de la memòria ha respectat la metodologia científica que s’aplica a les sessions de laboratori. Tanmateix, es recomana millorar el pas corresponent a la hipòtesi. Els alumnes s’estan iniciant en la metodologia científica i aquesta part s’ha de treballar més. També es vol comentar que un parell de grups classe de desdoblament es van veure afectats en termes de concentració. El primer perquè tot just acabava de fer un examen de matemàtiques i van estar preocupats per com els havia anat. El segon grup sempre és el que té més problemes de concentració per fer la sessió els divendres a penúltima hora. Després d’una setmana de treball i a tocar del cap de setmana, aquest grup classe sempre treballa més lent i es distreu amb més facilitat. És en aquestes dues hores on uns dos grups d’alumnes no van acabar de redactar les conclusions de la pràctica. Per últim, es vol destacar els bons comentaris dels alumnes en acabar la sessió i la predisposició a participar en la prova prototip, així com la robustesa de la tecnologia digital utilitzada.”

Les respostes del docent a les preguntes del formulari es poden consultar al següent document.

[Resposta Enquesta professorat STEM 2n ESO.pdf](#)

Annex VIII. Codi Arduino per la pràctica

En aquest annex s'inclou el codi utilitzat amb la placa Arduino. Inclou les funcions encarregades de llegir el port sèrie i obtenir les dades que arriben de l'Excel. Si es rep un valor zero, l'Arduino atura l'enviament de dades a l'Excel. En canvi, si rep qualsevol altre valor, començarà a executar la rutina per llegir el pin analògic i enviarà les dades a l'Excel.

Figura 23.

Codi de programació per la placa Arduino UNO

```
// Programa creat per la pràctica STEM de conductivitat elèctrica -La Salle Tarragona
//Declaració de variables
String CadenaEntrant = ""; // Recepció de dades
boolean Completada = false; // String completada amb nova línia
int InCH1; // Rebudes de l'Excel
int valor;
float volts;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  InCH1=0;
  netejar ();
}

void loop() {
  ObtenirDades();
  if (Completada) { //Després de nova línia, cal separar dades
    InCH1 = recupera(CadenaEntrant, ',', 0).toInt(); //Crida la funció per recuperar
    dades i convertir a enter
    CadenaEntrant = ""; // Reinicialitzar CadenaEntrant
    Completada = false; // Reinicialitzar Completada
  }
  if (InCH1==0){
  }
  else {
    delay (50);
    for (int i=1; i<=5; i++){
      valor=analogRead (0);
      volts=5.0*valor/1023.0;
      Serial.print(i);
      Serial.print(",");
      Serial.print(valor);
      Serial.print(",");
      Serial.println(volts);
      delay(125);
    }
    delay(5000);
  }
}

void ObtenirDades() {
  while (Serial.available()) {
    char inChar = (char)Serial.read(); // Obtenir byte
    CadenaEntrant += inChar; // Afegir-lo a la cadena d'entrada
    if (inChar == '\n') { // Final de línia
      Completada = true; // Recepció de dades completada
    }
  }
}
```

```

String recupera(String dades, char delimitador, int index)
{ // Subrutina original del complement Excel per recuperar dades
  int OKIndex = 0;
  int strIndex[] = {0, -1};
  int maxIndex = dades.length()-1;
  for(int i=0; i<=maxIndex && OKIndex<=index; i++){
    if(dades.charAt(i)==delimitador || i==maxIndex){
      OKIndex++;
      strIndex[0] = strIndex[1]+1;
      strIndex[1] = (i == maxIndex) ? i+1 : i;
    }
  }
  return OKIndex>index ? dades.substring(strIndex[0], strIndex[1]) : "";
}

void netejar (){
  for (int i=1; i<=5; i++){
    Serial.print("");
    Serial.print(",");
    Serial.print("");
    Serial.print(",");
    Serial.println("");
    delay(100);
  }
}

```

Nota. Elaboració pròpia

El codi de programació per la placa Arduino UNO que s'utilitza en el prototip 2 està inclòs a l'arxiu comprimit [DataStream_Conductivitat.zip](#)

Annex IX. Programació Excel

Programació en VBA corresponent als botons de l'Excel. Aquests botons s'encarreguen de passar les dades obtingudes a cada part de la taula o a esborrar els valors guardats.

Figura 24.
Programació en VBA per les macros de l'Excel

```
Private Sub Mostra_1_Click()  
    With Range("C13")  
        .Value = Now()  
        .NumberFormat = "dd/mm/yyyy hh:mm:ss"  
    End With  
    Range("B16:D20").Value = Range("E4:G8").Value  
End Sub  
  
Private Sub Mostra_2_Click()  
    With Range("H13")  
        .Value = Now()  
        .NumberFormat = "dd/mm/yyyy hh:mm:ss"  
    End With  
    Range("G16:I20").Value = Range("E4:G8").Value  
End Sub  
  
Private Sub Mostra_3_Click()  
    With Range("M13")  
        .Value = Now()  
        .NumberFormat = "dd/mm/yyyy hh:mm:ss"  
    End With  
    Range("L16:N20").Value = Range("E4:G8").Value  
End Sub  
  
Private Sub Suprimir_Click()  
    Range("B16:N20").Value = Range("B103:N107").Value  
End Sub
```

Nota. Elaboració pròpia

L'Excel per treballar en la fase de recollida de dades de la pràctica STEM i des d'on s'envien les dades a la memòria del prototip 2 està inclosa a l'arxiu comprimit

[DataStream_Conductivitat.zip](#)

Annex X. Programació de la memòria amb S-Math Studio

En aquest annex es mostra la programació de la memòria amb el programa S-Math Studio. Inclou elements encarregats de visualitzar els elements desplegable, obtenir dades de l'Excel i calcular valors a partir d'aquestes dades.

Figura 25.
Opcions pels elements desplegable

$$\text{Opcions_P1} := \begin{bmatrix} "" \\ \text{"Per l'aigua destilada"} \\ \text{"Per l'aigua de l'aixeta"} \\ \text{"Per l'aigua de l'aixeta amb sal"} \end{bmatrix} \quad \text{Opcions_P2} := \begin{bmatrix} "" \\ \text{"El voltatge mesurat augmentarà"} \\ \text{"El voltatge mesurat no canviarà"} \\ \text{"El voltatge mesurat disminuirà"} \end{bmatrix}$$

Nota. Elaboració pròpia

Figura 26.
Programació per importar dades de l'Excel i calcular els resultats de la mostra 1

```
EXCELruta := "Conductivitat_2n_ESO.xlsm"
Capçalera := [ "Registre" "Valor" "Volts" ]
registre := [ 1
              2
              3
              4
              5 ]
C1 := [ "Dades obtingudes el:" ]
valors_M1 := excel_OUT (EXCELruta; "Panell"; "C16:C20")
volts_M1 := excel_OUT (EXCELruta; "Panell"; "D16:D20")
M1 := [ Registre valors_M1 volts_M1 ]

VR1_M1 := (volts_M1_1 + volts_M1_2 + volts_M1_3 + volts_M1_4 + volts_M1_5) / 5
R2 := (V_in * R_1 - V_R1 * R_1) / V_R1

Hora_registre_M1 := excel_OUT (EXCELruta; "Panell"; "C13")
valors_M2 := excel_OUT (EXCELruta; "Panell"; "H16:H20")
volts_M2 := excel_OUT (EXCELruta; "Panell"; "I16:I20")
M2 := [ Registre valors_M2 volts_M2 ]

Hora_registre_M2 := excel_OUT (EXCELruta; "Panell"; "H13")
valors_M3 := excel_OUT (EXCELruta; "Panell"; "M16:M20")
volts_M3 := excel_OUT (EXCELruta; "Panell"; "N16:N20")
M3 := [ Registre valors_M3 volts_M3 ]

Hora_registre_M3 := excel_OUT (EXCELruta; "Panell"; "M13")
```

Nota. Elaboració pròpia

Figura 27.
Programació per dibuixar la gràfica final amb els càlculs de l'alumnat

$$V_{R1} := VR1_{M1} = 0 \quad R_2 := \frac{V_{in} \cdot R_1 - V_{R1} \cdot R_1}{V_{R1}}$$

```
input := excel_IN ("no"; EXCELruta; "Graf"; "B1"; R2)
input := excel_IN ("no"; EXCELruta; "Graf"; "B2"; R2_M2)
input := excel_IN ("no"; EXCELruta; "Graf"; "B3"; R2_M3)

Resultats := excel_PNGv0 (EXCELruta; "Graf"; "D1:I17"; "Graf.png") = "C:\Users\Admin\Desktop\Mostrar\Conductivitat\Graf.png"
```

Nota. Elaboració pròpia

La memòria del prototip 2 està inclosa a l'arxiu comprimit [DataStream_Conductivitat.zip](#)