




**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=ca>

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=es>

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>

# Caracteritzant el potencial educatiu de la ciència ciutadana escolar

Disseny i avaluació d'una seqüència didàctica  
per a l'aprenentatge del model matèria  
a secundària

**Caterina Solé Martín**

Tesi doctoral

DOCTORAT EN EDUCACIÓ

**Dra. Digna Couso Lagarón**

**Dra. María Isabel Hernández Rodríguez**

Departament de Didàctica de la Matemàtica  
i les Ciències Experimentals

Universitat Autònoma de Barcelona

Bellaterra, gener 2024



Tesi doctoral

**Caracteritzant el potencial educatiu de la ciència  
ciutadana escolar. Disseny i avaluació d'una seqüència  
didàctica per a l'aprenentatge del model matèria a  
secundària.**

Doctorat en Educació

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals

Autora:

**Caterina Solé Martín**

Directores:

**Dra. Digna Couso Lagarón**

**Dra. María Isabel Hernández Rodríguez**

Bellaterra, gener 2024

Caterina Solé Martín (2024)

Tesi doctoral. Programa de Doctorat en Educació. Àmbit de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals (Universitat Autònoma de Barcelona), Bellaterra, Barcelona

**Paraules clau:** ciència ciutadana, pràctiques científiques, model matèria

**Keywords:** citizen science, scientific practices, model of matter

Portada: Clara Borràs Eroles

Aquesta tesi ha estat elaborada al Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals de la Universitat Autònoma de Barcelona.

## PRESENTACIÓ

Aquest document recull el treball de tesi doctoral realitzat per Caterina Solé Martín, matriculada al programa de Doctorat en Educació en l'àmbit de la Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals de la Universitat Autònoma de Barcelona i investigadora al grup de recerca SGR ACELEC (Activitat Científica Escolar: Llenguatge, Eines i Contextos) (2021 SGR 00647).

Aquest treball forma part del projecte de recerca ESPIGA – *El pensamiento y las prácticas científicas en la era de la post-verdad: Promoviendo desempeños epistémicos en la escuela para una ciudadanía crítica y empoderada* (PGC2018-096581-B-C21) en el qual l'autora d'aquesta tesi hi ha participat com a investigadora predoctoral amb l'ajut PRE2019-087419.

Aquesta tesi doctoral es presenta com a compendi de publicacions, ha estat aprovada per la Comissió Acadèmica del Programa de Doctorat (carta d'aprovació a l'Annex 1) i inclou els següents articles:

- Solé, C., Couso, D., Hernández, M.I. (2023). Citizen science in schools: A systematic literature review. *International Journal of Science Education: Part B*. <https://doi.org/10.1080/21548455.2023.2280009>
- Solé, C., Couso, D., Hernández, M.I. (en prensa). ¿Qué ciencia ciudadana se está haciendo en contexto escolar? Una herramienta para su evaluación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.
- Solé, C., Couso, D., Hernández, M.I. (2024). Participem en una iniciativa de ciència ciutadana? 10 recomanacions per integrar la ciència ciutadana a l'aula de ciències. *Ciències*, 2-10. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencias.494>
- Solé, C. (2023). ¿Cómo afecta la contaminación del aire a nuestra salud? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 112, 29-34.
- Solé, C., Tena, È., Couso, D. (2020). ¿Qué modelo de materia explica la contaminación? Explorando el modelo corpuscular en la mesoescala. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 101, 30-36.
- Solé, C., Couso, D., Hernández, M.I. (2023). Revisiting how secondary students understand air pollution. The challenge of particulate matter. *Chemistry Education Research and Practice*, 24, 132-142. <https://doi.org/10.1039/D2RP00117A>

A banda de les publicacions anteriors, durant el transcurs d'aquesta tesi doctoral també s'han compartit i validat els resultats de recerca a través de la participació en diferents congressos de l'àmbit local, estatal i internacional, així com escoles de doctorat (VI Escuela de Doctorado de Ápice i ESERA Summer School 2022). A continuació es presenten les contribucions en ordre cronològic i en l'idioma de la comunicació:

- Couso, D., Jiménez, M. i Solé C. (2020). Evaluation of citizen science initiatives from a qualitative perspective. Studying change in Open Science views within the ORION project. Poster presentation. Citizen science conference, online.
- Tena, È., Solé, C., Couso, D., (2020). ¿Cómo podemos investigar la contaminación atmosférica en las aulas de primaria y secundaria? Una propuesta de indagación basada en la modelización. Taller. VII Seminario Iberoamericano CTS, online.
- Solé, C., Tena, È., Couso, D., Hernández, M.I., (2021) . ¿Cómo es el aire contaminado? Ideas del alumnado de primaria y secundaria sobre la estructura y la naturaleza de la contaminación atmosférica. Presentación oral. 29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, online.
- Gignac, F., Solé, C., Barrera-Gómez, J., Persavento, C., Tena, E., López-Vicente, M., Júlvez, J., Couso, D., Basagaña, X. (2021). The 'Atenció' Project: an opportunity to co-create with high schools students a questionnaire for identifying factors influencing attention. Poster presentation. CitSciVirtual 2021, online.
- Solé, C., Couso, D., Hernández, M.I., (2021). Ideas del alumnado sobre la materia en el fenómeno de la contaminación atmosférica. Presentación oral en simposio. 11º Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las ciencias, online.
- Solé, C., Couso, D., Hernández, M.I., (2022). Investigación científica profesional y ciencia ciudadana: ¿el alumnado de secundaria le otorga la misma confianza? Presentación oral. 30 Encuentros internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Melilla (España).
- Tena, È., Solé, C., Couso, D., (2023). Involving Different Stakeholders in the Process of Designing, Implementing, and Evaluating a TLS about Air Pollution. Oral presentation. Conference Educating the Educators IV, Leiden (The Netherlands).

- Solé, C., Couso, D., Hernández, M.I., (2023). Citizen Science in Schools: How does it contribute to students' scientific competence?. Poster presentation. ESERA 2023, Cappadocia (Turkey).
- Tena, E., Solé, C., Couso, D., Hernández, M.I., (accepted). Students' ideas about air pollution: a learning progression from primary to secondary students. Oral presentation. NARST 2024, Denver (United States).

Degut a la voluntat de transferència d'aquesta tesi, tant els productes com els resultats de recerca presentats en aquest treball s'han presentat també en diferents espais de formació i innovació docents com el Repte Experimenta 2023 de la Universitat Rovira i Virgili, els Divendres de Biologia i Geologia al CESIRE (2021), la STEMConf 2020, el programa Investiga amb CosmoCaixa 2019, la Microxarxa Escola Respira del programa Escoles+Sostenibles i l'EXploraSTEM 2019.

En la mateixa línia de transferència, també s'han publicat en obert els materials educatius que s'han dissenyat per diferents nivells educatius arrel de la recerca duta a terme en aquesta tesi doctoral i que formen part del Projecte 'Ciència ciutadana per analitzar l'efecte de la contaminació en la funció cognitiva dels adolescents ATENCIÓ (2017 ACUP 00274) i el Projecte 'Volem ser científiques i enginyeres! Projectes STEM amb perspectiva de gènere' (FCT-20-15569), respectivament:

- Solé, C., Tena, È., Couso, D. i Hernández, M. (2019). Investigar sobre la contaminació a l'aula de Secundària. Dipòsit digital de la UAB.
- Solé, C., Tena, È., Couso, D. (2022). Com podem saber si l'aire de l'institut està contaminat?. Dipòsit digital de la UAB.

En el desenvolupament d'aquesta tesi doctoral s'ha col·laborat amb la Universitat de Santiago de Compostela a través d'una estada breu amb la Dra. Blanca Puig.



## AGRAÏMENTS

Aquesta tesi és el fruit d'innombrables hores, moltes discussions, encara més aprenentatges i una comunitat sense la que tot això no hagués sigut possible. Aquestes ratlles són per agrair a totes les persones que n'han format part la seva generositat.

En primer lloc, m'agradaria donar les gràcies a les meves directores de tesi, la Dra. Digna Couso i la Dra. María Isabel Hernández, per confiar en mi des de l'inici. Gràcies, Digna, per apassionar-me per la didàctica de les ciències, ensenyar-me a ser crítica en la recerca, a que sempre se li pot donar una *vuelta de tuerca* més. Gràcies també per crear un espai confortable, per la confiança plena sempre, per liderar-nos com a equip però al mateix temps cuidar-nos, per les nombroses converses sobre la vida i per respondre sempre que “Clar!” a la pregunta “si et puc parlar amb franquesa...”. Gràcies, Marisa, per acompanyar-me ja des del Treball de Final de Màster amb les teves paraules càlides, per la teva sinceritat, pel teu ple suport quan et vaig dir que em plantejava fer una tesi, per les teves preguntes sempre encertades que tant i tant ens han fet reflexionar i tenir sempre a punt uns “ànims, fas molt bona feina”. A les dues també m'agradaria agrair-vos especialment el temps que heu dedicat a aquesta tesi quan fèiem les tutories entre 5. Sempre es diu que la tesi tot just és l'inici, espero que els aprenentatges al vostre costat no hagin fet més que començar!

Aquesta tesi tampoc hagués sigut possible sense l'Èlia Tena. No m'equivoco en dir que no hagués pogut somiar millor companya de viatge (en sentit figurat i literal!). Gràcies, Èlia, per estar sempre a la taula del costat, per les infinites discussions sobre didàctica i no didàctica, per compartir tots els maldecaps i totes les alegries i per ser la millor *partner in crime* davant de tots els “i si féssim...”. Aquests anys, i aquesta tesi, han sigut infinitament millors gràcies a tu!

Es podria dir que aquesta tesi va començar una mica el dia que, tot decidint què faria amb la meva vida laboral en acabar el grau, vaig anar a parar a la web del CRECIM. Imagineu-vos la meva reacció en conèixer la gent que n'ha format part en els últims anys! A la Carme Grimalt per estar sempre disposada a ajudar-me amb la recerca, la gestió de projectes o el que fes falta amb un somriure sincer, i per ensenyar-me que per assolir les teves metes cal anar-hi, anar-hi i anar-hi. Al Víctor López per la seva incommensurable passió, per ajudar-me sempre a pensar i fer-me preguntes, i per les seves immenses paraules d'ànims i confiança cada vegada que el futur pinta una mica fosc. A la Maria Navarro per fascinar-me al REVIR, ensenyar-me tantíssimes coses sobre com fer una classe de ciències i pels infinits dinars

parlant sobre tot i res. A la Raquel Ríos, la Cristina Simarro i l'Anna Garrido per compartir dinars, reflexions i moments al llarg d'aquest temps. A l'Oto Lusic, per obrir-me les portes de la seva aula i permetre'm aprendre tantíssimes coses, aquesta tesi també és millor gràcies a tots aquests dies.

Aquesta tesi tampoc hagués sigut possible sense l'equip d'ISGlobal que ens ha acompanyat en l'aventura del Projecte Atenció, i especialment al Xavier Basagaña, la Florence Gignac i la Cecília Persavento, amb els que tant hem reflexionat sobre contaminació de l'aire i com involucrar a l'alumnat en el projecte de manera que tingués sentit per a tothom. També m'agradaria agrair a tot al professorat que s'ha involucrat en les cocreacions, formacions i implementació del projecte per la seva generositat, el seu temps i tots els correus que deien alguna cosa així com "necessites allò de les bosses de l'aire, oi?". I evidentment, a tot l'alumnat que ha participat en el projecte, i a totes les famílies que han donat el seu consentiment, sense les quals aquesta tesi no existiria.

També a la gent del Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals de la UAB i del grup LIEC que sempre s'han preocupat per com anava el desenvolupament d'aquesta tesi: Anna Marbà, Mariona Espinet, Mercè Junyent, Neus Sanmartí, Mercè Izquierdo, Begoña Oliveras, Carolina Pipitone, Lluís Albarracín, Núria Gorgorió, Núria Planas... . I especialment a la Conxita Márquez, per acompanyar-me a entrar al món de la recerca en didàctica amb el Treball de Final de Màster, per les seves paraules de suport quan li vaig dir que estava pensant fer una tesi i pels seus ànims durant tot aquest temps. També a l'Edelmira Badillo per totes les vegades que ha vingut a preguntar-me com estava i totes les abraçades en sortir publicat els articles d'aquest compendi.

A Blanca Puig, Inés Mosquera, Beatriz Crujeiras, Lucía Casas Quiroga e todo o grupo RODA da USC pola súa acollida na miña estadía en Santiago. Grazas por abrirme as portas ao voso grupo e dedicar tempo a debater sobre pensamento crítico e ciencia cidadá. Tamén polos cafés en lugares fermosos, as tardes de traballo en bibliotecas inspiradoras, e especialmente a Inés por acompanyar-me a descobrir Santiago e A Coruña.

També m'agradaria fer un especial agraïment a la Marta Simón, perquè segurament va ser la primera persona en confiar en mi en el món educatiu, donant-me la oportunitat de col·laborar al Programa Argó de PICE de la UAB. Perquè quan li vaig dir que tenia la possibilitat de fer una tesi en didàctica de les ciències no va dubtar ni un segon a dir-me que

endavant, i encara va trigar menys, després, en apuntar-se a participar del Projecte Atenció amb el seu institut.

M'agradaria agrair a tots els companys i companyes del doctorat que m'han acompanyat en algun moment del camí els esforços per crear espais molt necessaris de formació entre iguals i de suport quan algú de nosaltres no veia la llum. Al Miquel Pérez, a la Maria Rosa Aguada, al Francisco Castillo y al Juan Rave, especialment, per totes les hores compartides.

També a la Francisca M. Ubilla i al Camilo Vergara, per les nostres converses infinites sobre política i llengua, i com tot això impregna també l'educació, la d'aquí i la d'allà. I perquè ens seguim trobant, com a mínim, en els nostres missatges creuats cada 11 de setembre.

Durant aquests anys també m'he sentit molt acollida en els diferents congressos i trobades de Didàctica de les Ciències Experimentals a nivell estatal, i especialment pel grup Sensociencia de la Universidad de Almería que sempre s'han interessat pel desenvolupament d'aquesta tesi, així com els i les companyes de la VI Escuela de Doctorado de ÁPICE. Also, I would like to mention the inspiring week that we spend together with international colleagues in the ESERA Summer School in Utrecht.

Aquesta tesi no només s'ha nodrit de tota la xarxa acadèmica i professional que m'ha acompanyat aquests anys, sinó també del suport de la meva família i amistats, sense la que aquesta tesi no hagués sigut possible.

A les meves amigues, la Marta Borràs, la Sílvia Mancha i l'Aina Núñez, que des de diferents parts del món sempre han escoltat les meves cabòries amb la tesi i m'han animat a seguir endavant. I a la Clara Borràs, per il·lustrar aquesta tesi amb molt d'amor.

A la Gemma Ballarà, la Xènia Rovira i el Xavi Martínez, amb qui fa anys que discutíem sobre física durant hores i hores a la Sala d'Estudis i ara discutim sobre educació i com portar el que tant ens apassiona a les aules. I a tota la resta d'amics i amigues de Física, sense els que segurament encara seguiria allà intentant aprovar 'Fenòmens col·lectius i transicions de fase'!

Al Henry Rafels que em va ensenyar el seu amor per la ciència i pel coneixement. Henry, encara que avui no puguis llegir aquests agraïments, aquesta tesi va per tu.

Al grup de músics dels Bordegassos de Vilanova, especialment a l'Eila Orts, la Rosa Castro i la Mar Montes, per cobrir-me en tots els "avui no puc venir a tocar, que he d'acabar un article".

A tota la gent de Montagut que sempre s'ha preocupat per com anava la tesi, la Garrotxa és casa gràcies a tots ells.

Al club de córrer Olímpicament, i a totes i cadascuna de les dones que el formen, perquè gràcies a elles ara soc més forta en tots els sentits i han oxigenat aquest tancament de tesi.

Vull acabar aquests agraïments donant les gràcies a la meva família. Gràcies mama per estar sempre, sempre i sempre al mateix equip, per escoltar-me i acompanyar-me en tots els trajectes al telèfon i pel teu amor incondicional, mai t'agraïrem prou tot el que has fet i fas per nosaltres. Gràcies papa per creure sempre en mi, per totes les preguntes que m'han fet pensar des de ben petita, “la tempesta s'allunya o s'apropa?”, i per ser el meu seguidor número 1, crític, però seguidor fidel. Gràcies tete per ajudar-me a qüestionar-m'ho tot, fins i tot si valia la pena acabar aquesta tesi, per aportar sempre un punt de vista nou en els nostres esmorzars al Viena i posar la banda sonora a la meva vida. I a l'Anna, per ser una més de la família des del primer dia. A la Maria i a la Júlia, per fer-me la tieta més afortunada del món, i posar llum i color a qualsevol dia fosc. I a la teta Ana, la iaia Fernanda i l'avi Mingu que estic segura que estarien molt i molt contents en un dia com avui.

A la meva família de Besalú, gràcies per acollir-me i estimar-me des del primer dia. Neus, Lluís, Regina, Marc, gràcies per alegrar-vos de totes les publicacions com si fossin vostres, per tot el suport i estima durant tot aquest temps i per muntar-me un despatx a tot arreu on ha fet falta. I a l'Ona, per tornar-me a convertir en una tieta molt i molt afortunada! A la iaia Sita i a l'avi Nolo per preguntar-me sempre com ho portava, preocupar-se per mi com d'una neta més i abraçar-me fort per donar-me ànims.

I especialment gràcies a tu, Manel, per formar el millor equip que hi ha. Gràcies per celebrar-nos i estimar-nos cada dia, fins i tot, ens els dies durs de fer una tesi. Per abraçar-me ben fort en cada *reject* d'un article i per compartir i multiplicar totes i cadascuna de les alegries. Gràcies, una vegada més, per tots els “anem on faci falta!” perquè pugui perseguir les meves metes i per animar-me i acompanyar-me a prendre decisions valentes. Perquè en aquest camí hem après moltíssimes coses, però la conclusió sempre ha sigut que junts tot és millor. No m'imaginaria aquesta tesi sense tenir-te al costat.

*No puc creure'm que s'ha acabat!*  
Els Pets (1991)

*És bo que el viatge tingui un fi; però, al final, allò important és el viatge mateix.*  
Ursula K. Le Guin (1969) en la traducció de Blanca Busquets (2019), *La mà esquerra de la foscor*

## RESUM

La present tesi doctoral explora com són les iniciatives de ciència ciutadana que es duen a terme en contextos d'educació formal amb la finalitat d'aportar al coneixement sobre el potencial educatiu d'aquestes propostes per a l'aula de ciències de secundària. En concret, aquesta tesi s'estructura mitjançant dos estudis que inclouen les diferents publicacions que formen part d'aquest compendi.

L'Estudi 1 té per objectiu caracteritzar com són les iniciatives de ciència ciutadana que s'estan duent a terme en context escolar a partir d'una revisió sistemàtica de la literatura. Per aquesta caracterització s'han definit quatre dimensions clau que, combinades, ens han permès definir quatre perfils d'iniciatives de ciència ciutadana en context escolar. Alhora, a partir de la gradació en nivells d'aquestes dimensions, s'ha avaluat la qualitat de les iniciatives en relació amb el seu potencial educatiu per a l'aula de ciències. Dins d'aquest primer estudi, també s'han aplicat les eines dissenyades pel cas d'una iniciativa de ciència ciutadana en context escolar concreta: el 'Projecte Atenció', sobre el que s'aprofundirà en la seva dimensió educativa en el segon estudi de la tesi.

L'Estudi 2 aprofundeix en el disseny i avaluació de la Seqüència d'Ensenyament i Aprenentatge (SEA) que acompanyava el 'Projecte Atenció'. Aquesta SEA estava centrada en l'ensenyament i aprenentatge del model matèria en el fenomen de la contaminació atmosfèrica, i adreçada a alumnat de 3r d'ESO. Així, en primer lloc, s'ha descrit quin ha sigut el procés de disseny i s'han definit els principis, elements i eines que han guiat el disseny de la SEA. En segon lloc, s'ha avaluat la confiabilitat d'aquesta SEA en termes de la millora de les idees de l'alumnat en relació amb aquest model. Això ens ha permès fer aportacions en relació amb com progressen les idees de l'alumnat en relació amb l'estructura i la natura de la matèria en diferents escales (macro, meso i submicro).

A part dels articles de recerca que conformen el compendi de publicacions, en aquesta tesi també s'han elaborat, i s'inclouen en aquest document, diferents productes de recerca amb l'objectiu d'oferir eines i recursos per al professorat.

## RESUMEN

La presente tesis doctoral explora cómo son las iniciativas de ciencia ciudadana que se llevan a cabo en contextos de educación formal con el fin de contribuir al conocimiento sobre el potencial educativo de estas propuestas para el aula de ciencias de secundaria. En concreto, esta tesis se estructura mediante dos estudios que incluyen las diferentes publicaciones que forman parte de este compendio.

El Estudio 1 tiene como objetivo caracterizar cómo son las iniciativas de ciencia ciudadana que se están llevando a cabo en contexto escolar a partir de una revisión sistemática de la literatura. Para esta caracterización, se han definido cuatro dimensiones clave que, combinadas, nos han permitido definir cuatro perfiles de iniciativas de ciencia ciudadana en contexto escolar. Asimismo, a partir de la gradación en niveles de estas dimensiones, se ha evaluado la calidad de las iniciativas en relación con su potencial educativo para el aula de ciencias. Dentro de este primer estudio, también se han aplicado las herramientas diseñadas para el caso de una iniciativa de ciencia ciudadana en contexto escolar específico: el 'Proyecto Atención', sobre el cual se profundizará en su dimensión educativa en el segundo estudio de la tesis.

El Estudio 2 profundiza en el diseño y evaluación de la Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje (SEA) que acompañaba al 'Proyecto Atención'. Esta SEA estaba centrada en la enseñanza y aprendizaje del modelo de materia en el fenómeno de la contaminación atmosférica, dirigida a estudiantes de 3º de ESO. Así, en primer lugar, se ha descrito cuál ha sido el proceso de diseño y se han definido los principios, elementos y herramientas que han guiado el diseño de la SEA. En segundo lugar, se ha evaluado la confiabilidad de esta SEA en términos de la mejora de las ideas de los estudiantes en relación con este modelo. Esto nos ha permitido hacer aportaciones en relación con cómo progresan las ideas de los estudiantes en relación con la estructura y la naturaleza de la materia en diferentes escalas (macro, meso y submicro).

Además de los artículos de investigación que conforman el compendio de publicaciones, en esta tesis también se han elaborado, y se incluyen en este documento, diferentes productos de investigación con el objetivo de ofrecer herramientas y recursos para el profesorado.

## ABSTRACT

This doctoral thesis explores the nature of citizen science initiatives carried out in formal education contexts with the aim of contributing to the understanding of the educational potential of these proposals for secondary science classrooms. Specifically, this thesis is structured through two studies that include all the papers that form this compendium.

Study 1 aims to characterize citizen science initiatives taking place in school contexts through a systematic literature review. Four key dimensions have been defined for this characterization, and their combination has allowed us to delineate four profiles of citizen science initiatives in the school context. Additionally, by grading these dimensions, the quality of initiatives has been assessed in relation to their educational potential for science classrooms. Within this first study, the tools designed have also been applied for a specific citizen science initiative in the school context, the 'Projecte Atenció'. The educational dimension of this initiative will be further explored in the second study of the thesis.

Study 2 delves into the design and evaluation of the Teaching and Learning Sequence (TLS) included in the 'Projecte Atenció.' This TLS focused on teaching and learning the model of structure of matter in the phenomenon of air pollution, and targeting 14-15-year-old students. Firstly, the design process has been described, outlining the principles, elements, and tools guiding the TLS design. Secondly, the reliability of this TLS has been evaluated in terms of the improvement of the students' ideas regarding this model. This has allowed contributions on how students' ideas progress concerning the structure and nature of matter across different scales (macro, meso, and submicro).

In addition to the research papers comprising the compendium, this thesis also includes various research products aimed at providing tools and resources for teachers.



# ÍNDEX

|   |           |
|---|-----------|
| <b>SECCIÓ I. PLANTEJAMENT DE LA RECERCA .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1. Introducció .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2. Referents teòrics.....</b>  | <b>7</b>  |
| 2.1. <i>Ciència ciutadana per a l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències .....</i>  | 7         |
| 2.1.1. Introducció a la ciència ciutadana.....  | 7         |
| 2.1.2. Ciència ciutadana en contextos d'educació formal.....  | 8         |
| 2.1.3. Ciència ciutadana en contextos d'educació formal per aprendre ciències.....  | 10        |
| 2.2. <i>Ensenyament i aprenentatge de les ciències des de la perspectiva de les pràctiques científiques .....</i>                                     | 11        |
| 2.2.1. Introducció a l'ensenyament-aprenentatge de les ciències des de la perspectiva de les pràctiques científiques.....                             | 11        |
| 2.2.2. Models i modelització.....   | 12        |
| 2.2.3. El model d'estructura de la matèria.....   | 14        |
| 2.3. <i>Disseny i avaluació de seqüències d'ensenyament-aprenentatge.....</i>   | 16        |
| 2.3.1. Recerca sobre el disseny de seqüències d'ensenyament-aprenentatge .....  | 16        |
| 2.3.2. Avaluació de seqüències d'ensenyament-aprenentatge.....  | 18        |
| <b>3. Objectius de la recerca .....</b>   | <b>21</b> |
| 3.1. <i>Objectius i preguntes de recerca .....</i>  | 21        |
| 3.2. <i>Estructura de la tesi.....</i>  | 22        |
| <b>SECCIÓ II. DESENVOLUPAMENT DE LA RECERCA .....</b>   | <b>25</b> |
| <b>4. ESTUDI 1. Caracteritzant la ciència ciutadana a les aules de ciències .....</b>   | <b>29</b> |
| 4.1. <i>Introducció a l'Estudi 1 .....</i>  | 29        |
| 4.2. <i>Metodologia de recollida i anàlisi de dades.....</i>  | 31        |
| 4.2.1. Paradigma de la recerca .....  | 31        |
| 4.2.2. Recollida de dades .....   | 31        |
| 4.2.3. Anàlisi de dades .....   | 33        |
| 4.3. <i>Resultats: Identificació de les dimensions i caracterització dels perfils de les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar.....</i> | 35        |
| 4.3.1. Article "Citizen science in schools: A systematic literature review" .....   | 36        |
| 4.4. <i>Resultats: Anàlisi de la qualitat de les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar.....</i>   | 53        |
| 4.4.1. Article "¿Qué ciencia ciudadana se está haciendo en contexto escolar? Una herramienta para su evaluación" .....                                | 54        |
| 4.5. <i>Resultats: 10 recomanacions per integrar la ciència ciutadana a l'aula de ciències.....</i>   | 73        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.5.1. Article “Participem en una iniciativa de ciència ciutadana? 10 recomanacions per integrar la ciència ciutadana a l’aula de ciències” ..... | 74         |
| 4.6. <i>Caracterització del perfil i anàlisi del Projecte Atenció com una iniciativa de ciència ciutadana en context escolar</i> .....            | 83         |
| 4.6.1. Context: descripció de la dimensió científica i educativa del Projecte Atenció.....  | 84         |
| 4.6.2. Metodologia de recollida i anàlisi de dades .....  | 87         |
| 4.6.3. Resultats del perfil i la qualitat del Projecte Atenció com una iniciativa de ciència ciutadana en context escolar .....                   | 88         |
| 4.6.4. Article “¿Cómo afecta la contaminación del aire a nuestra salud?” .....  | 92         |
| 4.6.5. Avaluació de la qualitat científica i la qualitat educativa del Projecte Atenció .....   | 98         |
| <b>5. ESTUDI 2. Disseny i avaluació d'una SEA per a l'aprenentatge del model matèria</b> .....  | <b>103</b> |
| 5.1. <i>Introducció a l'Estudi 2</i> .....  | 103        |
| 5.2. <i>Identificació dels principis, elements i eines de disseny</i> .....   | 105        |
| 5.2.1. Fonamentació inicial del disseny de la SEA .....   | 105        |
| 5.2.2. Article “¿Qué modelo de materia explica la contaminación? Explorando el modelo corpuscular en la mesoescala” .....                         | 109        |
| 5.2.3. Concreció de la SEA.....   | 117        |
| 5.3. <i>Avaluació de la qualitat educativa en termes de la progressió de les idees del model matèria de l'alumnat</i> .....                       | 120        |
| 5.3.1. Metodologia de recollida i anàlisi de dades.....   | 120        |
| 5.3.2. Article “Revisiting how secondary students understand air pollution. The challenge of particulate matter” .....                            | 126        |
| <b>SECCIÓ III. CONCLUSIONS, IMPLICACIONS I LIMITACIONS DE LA RECERCA</b> .....  | <b>139</b> |
| <b>6. Conclusions, implicacions i limitacions de la recerca</b> .....   | <b>141</b> |
| 6.1. <i>Conclusions sobre la caracterització d'iniciatives de ciència ciutadana en context escolar</i> .....                                      | 141        |
| 6.2. <i>Conclusions sobre el disseny i l'avaluació d'una SEA en el context d'una iniciativa de ciència ciutadana escolar</i> .....                | 145        |
| 6.3. <i>Conclusions transversals</i> .....  | 147        |
| 6.3. <i>Limitacions i futures línies de recerca</i> .....   | 148        |
| <b>SECCIÓ IV. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES</b> .....   | <b>151</b> |
| <b>7. Referències bibliogràfiques</b> .....   | <b>153</b> |
| <b>Índex de taules</b> .....  | <b>166</b> |
| <b>Índex de figures</b> .....   | <b>167</b> |
| <b>SECCIÓ V. ANNEX</b> .....  | <b>169</b> |
| <b>Annex 1. Carta d'acceptació per a la presentació de la tesi doctoral per compendi de publicacions</b>  | <b>171</b> |

---

# SECCIÓ I. PLANTEJAMENT DE LA RECERCA

---

Introducció  
Referents teòrics  
Objectius de la recerca



## 1. Introducció

Cada curs escolar arriben als equips directius i docents d'escoles i instituts del nostre context nombroses propostes de participació en projectes de recerca, transferència o innovació. Entre totes elles, en els últims anys han guanyat molta presència les propostes de 'ciència ciutadana', és a dir, iniciatives que busquen que l'alumnat, o la comunitat educativa en el seu conjunt, s'involveixi i contribueixi activament en un projecte científic real en col·laboració amb una institució de recerca professional (Hecker et al., 2018).

L'augment d'aquestes iniciatives està en consonància amb el paradigma de la Recerca i la Innovació Responsable (RRI de les seves sigles en anglès) que ha rebut un gran reconeixement i suport econòmic per part de les institucions de finançament europees durant l'última dècada. El paradigma RRI té per objectiu obrir la ciència a la ciutadania tant per motius democràtics i des d'una perspectiva ètica (European Commission, 2014), com per accelerar la pròpia ciència gràcies a la participació de moltes persones (Socientize Consortium, 2013). Tot i que podem trobar diferents propostes per apropar la Recerca i la Innovació Responsable a les aules, per exemple, treballar a partir de qüestions sociocientífiques o involucrar-se en activitats d'Aprenentatge-Servei (Couso et al., 2017), en els últims anys la ciència ciutadana s'ha erigit com una perspectiva privilegiada que compta amb un ampli suport, sent a dia d'avui, un recurs molt utilitzat per vincular la ciència professional amb l'educació.

Aquesta vinculació, però, no està exempta de reptes. Des de la perspectiva educativa, sota el nostre punt de vista, qualsevol iniciativa que tingui lloc en context escolar ha de perseguir uns objectius educatius específics i oferir a l'alumnat un escenari ric per al seu aprenentatge. Tot i que hi ha recerques que apunten que l'alumnat participant en iniciatives de ciència ciutadana millora les seves habilitats d'indagació (Stylinski et al., 2020) o que la seva participació té un impacte positiu en el seu interès o actitud vers les ciències (Brossard et al., 2005; Kelemen-Finan et al., 2018), aquestes són escasses i, degut a l'ampli ventall de propostes que s'engloben sota el terme 'ciència ciutadana' (Haklay et al., 2021), comparar-ne els resultats és complex.

Davant d'aquests reptes, en aquesta tesi, en primer lloc, ens centrem en caracteritzar com són les iniciatives de ciència ciutadana que es duen a terme en contextos d'educació formal, per tal de reflexionar sobre el potencial educatiu de la diversitat de propostes.

En segon lloc, per tal d'aprofundir en la dimensió educativa d'aquest tipus de propostes, ens centrem en l'estudi d'una iniciativa de ciència ciutadana en context escolar concreta, el 'Projecte Atenció'. Aquesta iniciativa, liderada per l'Institut de Salut Global de Barcelona (ISGlobal) i el Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica (CRECIM) de la Universitat Autònoma de Barcelona, buscava investigar la relació entre l'atenció dels i les joves entre 14 i 15 anys (3r d'ESO) i l'exposició a la contaminació atmosfèrica, al mateix temps que pretenia alfabetitzar i apoderar a l'alumnat participant a través de la implementació d'una seqüència d'ensenyament-aprenentatge sobre aquesta problemàtica.

Estem d'acord en que, per tal d'avaluar la qualitat educativa d'una proposta hem d'anar més enllà de la pròpia percepció de l'alumnat o professorat, avaluant en profunditat la relació entre els objectius d'aprenentatge proposats, la implementació de la proposta i els resultats d'aprenentatge (Tena & Couso, 2023), de forma rigorosa i sistemàtica (Hernández & Pintó, 2016; Jiménez-Liso et al., 2021). Aquesta perspectiva, per exemple, diferenciarà una innovació, en la que l'objectiu no és dur a terme una recerca empírica teòricament fonamentada, d'una recerca sobre propostes d'ensenyament-aprenentatge (Guisasola et al., 2021). Malgrat això, trobem que sovint es presenten moltes recerques que discuteixen sobre els resultats d'aprenentatge de l'alumnat, però que no inclouen la caracterització de l'escenari didàctic en el que es donen (Oliva, 2020), és a dir, quines són les decisions que s'han pres i que guien el disseny de la seqüència d'ensenyament-aprenentatge en la que participa l'alumnat. Aquest fet provoca que, com a comunitat, sigui molt difícil aprendre d'aquestes experiències i que aquestes contribueixin a la teoria de forma fonamentada (Guisasola et al., 2021).

En el context d'aquesta tesi ens hem focalitzat en el disseny i l'avaluació de la seqüència d'ensenyament-aprenentatge que acompanyava el 'Projecte Atenció'. En primer lloc, sota la perspectiva de que és necessari transparentar quins són els principis, elements i eines de disseny de les seqüències d'ensenyament-aprenentatge (Jiménez Liso et al., 2023), ens centrem en el disseny de la seqüència del 'Projecte Atenció'. En segon lloc, ens centrem en l'avaluació de la relació entre els objectius d'aprenentatge proposats i els resultats d'aprenentatge de l'alumnat en termes de la construcció d'una de les grans idees o idees centrals de la ciència (Harlen, 2010; NRC, 2012): el model d'estructura de la matèria (Benarroch, 2001; Moltó et al., 2021; Talanquer, 2009).

Així, de forma global, en aquesta tesi doctoral ens preguntem sobre el potencial educatiu de les iniciatives de ciència ciutadana en contextos d'educació formal: com ha de ser una

iniciativa de ciència ciutadana en context escolar perquè tingui qualitat educativa? Amb quins criteris pot el professorat valorar el potencial educatiu d'una iniciativa de ciència ciutadana? Com podem dissenyar i avaluar bones experiències de ciència ciutadana en context escolar? Totes aquestes preguntes neixen tant, des de les inquietuds com a investigadora per conèixer i reflexionar sobre el nou paradigma de la ciència ciutadana i les seqüències d'ensenyament-aprenentatge, com des d'una perspectiva docent i de disseny per tal de transformar els resultats de recerca en exemples pràctics útils a l'aula, així com des de les inquietuds personals per tal de buscar mecanismes per apropar la ciència en construcció a les aules.

Així, amb l'objectiu d'aportar a tots aquests reptes, aquesta tesi s'estructura en dos estudis. L'Estudi 1, a partir d'una revisió sistemàtica de la literatura, té per objectiu caracteritzar les iniciatives de ciència ciutadana que tenen lloc en context escolar. A més a més, s'han aplicat les eines generades per a aquesta caracterització al cas del 'Projecte Atenció'. A l'Estudi 2 s'ha aprofundit en el disseny i l'avaluació de la seqüència d'ensenyament-aprenentatge que acompanyava aquest projecte, en termes de la millora de les idees de l'alumnat sobre el model matèria. Cadascun d'aquests estudis està recollit en diferents articles que conformen aquesta tesi per compendi de publicacions. D'altra banda, degut a la voluntat de transferència d'aquesta tesi, per cadascun dels estudis també s'han elaborat diferents productes de recerca que tenen per objectiu oferir eines, recursos i bons exemples. Per tal d'estructurar aquests estudis aquesta tesi compta amb 4 seccions i 1 annex.

La Secció I presenta el plantejament de la recerca. Inclou aquesta introducció, els referents teòrics emprats, així com els objectius i preguntes de recerca. Al final d'aquesta secció també s'inclou un esquema que relaciona les diferents preguntes de recerca amb els articles que conformen el compendi de publicacions.

La Secció II recull els resultats de l'Estudi 1 i l'Estudi 2 en forma de publicacions i productes de recerca. Per aquelles preguntes de recerca per a les que no hi ha un article associat, s'ha incorporat el desenvolupament de la recerca en aquest document.

La Secció III recull la discussió de resultats i conclusions de forma transversal a tota la tesi, així com les principals contribucions i limitacions.

Finalment, la Secció IV presenta els referents bibliogràfics utilitzats.



## 2. Referents teòrics

### 2.1. Ciència ciutadana per a l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències

#### 2.1.1. Introducció a la ciència ciutadana

A meitats dels anys 90 autors com Irwin (1995) i Bonney (1996) van començar a fer servir el terme 'ciència ciutadana' per referir-se a aquelles activitats en les que el públic general participava en la recerca científica, sobretot, col·laborant en la recollida de dades de recerques de l'àmbit científic natural (p. ex. recerques en l'àrea de l'ornitologia) i que ja provenien d'una tradició de recerques feta per persones que es dedicaven a la ciència de forma amateur (Bonney et al., 2015). Sobretot durant els primer anys, aquest terme ha conviscut amb d'altres com 'ciència participada', 'ciència comunitària' o 'participació pública a la ciència', però ha guanyat popularitat i rellevància en els últims temps (Vohland et al., 2021).

Malgrat la popularitat del terme, molts han sigut els esforços per definir a què ens referim quan parlem d'iniciatives de ciència ciutadana, ja que la seva pròpia definició necessita de l'abordatge de reptes tant epistemològics, com metodològics i socials (Haklay et al., 2021).

En primer lloc, en relació amb els reptes epistemològics, la ciència ciutadana requereix d'una activitat que tingui com a finalitat la creació de nou coneixement científic (Hecker et al., 2018). Sovint, les diferents definicions de ciència ciutadana han entès aquest nou coneixement científic com coneixement de l'àmbit natural i experimental (Auerbach et al., 2019). Altres definicions, han incorporat perspectives més àmplies relacionant aquest coneixement amb altres àmbits com les ciències socials i les humanitats. Aquests diferents tipus de coneixement, impliquen també, diferents processos pels quals arribar-hi, i per tant, també diferents reptes metodològics.

En relació amb els reptes metodològics, una de les qüestions més abordades en la literatura sobre ciència ciutadana és en quines activitats s'involucra el públic general. Sovint, i en part gràcies a l'ampli ús dels dispositius mòbils, s'assimila la ciència ciutadana a activitats on la ciutadania recull dades (Phillips et al., 2019), per exemple, sobre l'estat d'un riu o la presència de mosquits (Nistor, 2019) a través d'una aplicació mòbil. Tot i això, el públic general pot participar en moltes altres activitats amb la finalitat de crear nou coneixement, ja sigui, per exemple, participant en la pròpia definició del problema i desenvolupament de la recerca, en activitats de microfinançament, o mitjançant la creació d'una xarxa distribuïda per a la computació (Serrano et al., 2014). Aquesta gran diversitat d'activitats posa de manifest la

complexitat de definir la ciència ciutadana des d'una perspectiva metodològica concreta de participació del públic general.

Finalment, la definició de la ciència ciutadana també implica tenir en compte reptes socials. Diferents perspectives estan d'acord amb que la participació de la ciutadania ha de ser voluntària (Phillips et al., 2019). Tot i això, quan la iniciativa requereix que la participació sigui d'un grup concret de la població, pot ser necessari tenir en compte quin benefici en treuen les persones participants per tal d'incentivar-ne la seva participació (Edwards et al., 2018). Així, les relacions que s'estableixen entre l'equip investigador i el públic general poden estar supeditades a aquestes condicions, presentant un diferent grau d'implicació de la ciutadania entre diferents iniciatives.

Davant de tots aquests reptes, múltiples autors (Auerbach et al., 2019; Haklay et al., 2021) estan fent esforços per conceptualitzar i reflexionar sobre el paper de la ciència ciutadana. Així, quan parlem d'iniciatives de ciència ciutadana cal posicionar-nos i ser transparents sobre quin enfocament estem tenint en compte i quines decisions estem prenent, amb l'objectiu de seguir aportant a la pràctica i a la reflexió.

En aquesta tesi doctoral entenem la ciència ciutadana com aquelles iniciatives que tenen en compte per al seu plantejament el document "Ten Principles of Citizen Science" publicat per la European Citizen Science Association (ECSA, 2015), ja sigui de forma explícita o implícita. Aquests principis destaquen la necessitat que la ciutadania s'involucri activament en tasques científiques amb l'objectiu de produir nous resultats científics, alhora que tant els equips investigadors professionals com les persones participants no professionals surten beneficiades d'aquesta col·laboració. Malgrat que compartim que aquests principis no són exhaustius i que cal seguir reflexionant sobre com articular la ciència ciutadana (Haklay et al., 2021), considerem que són un bon punt de partida per definir quin tipus d'iniciatives es troben englobades en aquest marc.

### **2.1.2. Ciència ciutadana en contextos d'educació formal**

En els últims anys, l'augment de les iniciatives de ciència ciutadana també ha portat a la seva presència en contextos d'educació formal dins d'escoles i instituts. Aquest tipus d'iniciatives s'han presentat com una oportunitat per treballar amb l'alumnat aspectes relacionats amb alguns problemes sociocientífics (Kelemen-Finan et al., 2018), la indagació (Stylinski et al., 2020) o la naturalesa de la ciència (Martin et al., 2022). Al mateix temps, la participació de

L'alumnat ha permès als equips investigadors professionals tenir l'oportunitat d'obtenir la contribució d'un gran nombre de persones de forma molt accessible (Phillips et al., 2019). Aquest nou escenari porta a nous reptes per a la pròpia definició de la ciència ciutadana quan es duu a terme en aquests contextos.

Des d'un punt de vista epistemològic, en contextos escolars cal diferenciar entre la creació de nou coneixement científic i la creació de nou coneixement científic escolar, és a dir, entre ciència i ciència escolar (Izquierdo et al., 1999). Mentre que el principal objectiu de la ciència professional és construir nou coneixement científic, l'objectiu principal de la ciència escolar és que l'alumnat sigui capaç d'explicar fenòmens del seu entorn mitjançant models científics escolars existents (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003). És a dir, l'alumnat està creant el seu coneixement científic en fer evolucionar les seves idees inicials sobre un fenomen, però aquest no és coneixement científic professional nou. Així, sota el nostre punt de vista, un dels reptes que presenta aquest context és la necessitat de fer ciència alhora que fer ciència escolar.

A nivell metodològic també cal apuntar nous reptes en aquest context. Malgrat que l'alumnat pugui participar en diferents activitats relacionades amb la recerca científica de forma similar a les del públic general, en context escolar trobem més restriccions de temps i espai (Roche et al., 2020). A més a més, connectant amb els reptes epistemològics, en context escolar les activitats a les que s'involucra l'alumnat també han de tenir en compte el seu aprenentatge (Harlin et al., 2018), així com les orientacions curriculars vigents (Kelemen-Finan et al., 2018). Per tant, no només caldrà tenir en compte en quines activitats o fases de la recerca l'alumnat pot aportar més per al desenvolupament de nou coneixement científic, sinó que també, quines activitats o fases de la recerca són les que aporten més per a l'aprenentatge de l'alumnat.

Aquestes consideracions també apunten a reptes socials per a la definició de ciència ciutadana en context escolar. En aquest escenari, l'alumnat participa en aquest tipus d'iniciatives perquè, ja sigui el professorat o l'equip directiu, han decidit la seva participació en elles. Així, en aquest cas, qui participa no ho fa de forma totalment voluntària (Kelemen-Finan et al., 2018) i, per tant, és un aspecte a considerar a l'hora de plantejar la seva participació (Kloetzer et al., 2021). Tot i que aquest fet presenta reptes en quant a l'interès de l'alumnat en participar, per contra també permet involucrar alumnat a qui normalment no arribarien aquest tipus d'iniciatives (Bonney et al., 2016).

A tots els reptes esmentats anteriorment, també cal destacar que l'alumnat participa en les iniciatives de ciència ciutadana juntament amb el seu professorat i, tot i que aquest no contribueixi directament al desenvolupament del nou coneixement científic, és un agent clau per a la seva consecució (Roche et al., 2020). Pel professorat, aquesta participació requereix d'una inversió addicional de recursos i esforços per incloure aquestes activitats dins de la seva programació anual i dins del currículum vigent (Kelemen-Finan et al., 2018). A més a més, sovint el professorat té poca confiança en el seu coneixement o en les seves habilitats científiques (Kloetzer et al., 2021), en el nostre context particularment en cursos d'educació primària. Així, la col·laboració entre l'equip científic professional i els i les docents s'ha identificat a la literatura com un dels elements claus per a la implementació de la ciència ciutadana en contextos escolars (Zoellick et al., 2012).

### **2.1.3. Ciència ciutadana en contextos d'educació formal per aprendre ciències**

Tal i com s'ha discutit anteriorment, un dels aspectes que destaca la literatura sobre la relació entre ciència ciutadana i escola és el fet d'oferir a l'alumnat un escenari ric per al seu aprenentatge (Harlin et al., 2018; Kelemen-Finan et al., 2018; Roche et al., 2020). Així, un dels objectius de la ciència ciutadana en context escolar és que l'alumnat aprengui sobre algun aspecte relacionat amb la ciència.

Hi ha iniciatives que assumeixen que aquest aprenentatge es dona pel simple fet de participar-hi, sense la necessitat que existeixi cap objectiu educatiu específic o cap material educatiu que acompanyi el procés (Bonney et al., 2016). Sota el nostre punt de vista, estem d'acord amb autors com Kloetzer i altres (2021) que assenyalen que per a que això es dugui a terme, un dels factors clau ha de ser l'existència de materials i guies docents connectades al currículum escolar, i per tant, uns objectius educatius específics.

Diferents autors s'han preguntat sobre quins són els aspectes potencials sobre els que es pot aprendre al participar en una iniciativa de ciència ciutadana. Phillips i altres (2018) proposen un marc per a l'avaluació de l'impacte d'iniciatives de ciència ciutadana que té en compte: l'interès, l'autoeficàcia, la motivació, els continguts conceptuals, processos i naturalesa del coneixement científic, les habilitats de la indagació científica i el comportament. No obstant això, les mateixes autores, i altres, com Kelemen-Finan i altres (2018), apunten que l'avaluació dels continguts, processos i naturalesa del coneixement científic, així com les habilitats d'indagació, és molt complexa i, en conseqüència, no les incorporen a les seves eines

d'avaluació. Sota el nostre punt de vista, en context escolar aquests continguts conceptuals prenen especial rellevància i són en les que se centrarà aquesta tesi doctoral.

Així, en la següent secció d'aquest marc teòric profunditzarem en la nostra visió de l'ensenyament-aprenentatge de les ciències, per tal de seguir reflexionant sobre de què parlem quan parlem d'ensenyament-aprenentatge en el marc d'una iniciativa de ciència ciutadana en context escolar.

## **2.2. Ensenyament i aprenentatge de les ciències des de la perspectiva de les pràctiques científiques**

### **2.2.1. Introducció a l'ensenyament-aprenentatge de les ciències des de la perspectiva de les pràctiques científiques**

Seguint la nostra tradició sobre l'ensenyament i aprenentatge de les ciències, entenem que el seu principal objectiu és l'alfabetització científica de la població, proposta que en el nostre context s'ha concretat amb el marc de l'Activitat Científica Escolar (ACE) (Izquierdo et al., 1999). L'ACE és una perspectiva didàctica que cerca que l'alumnat participi en les pràctiques socials, discursives i cognitives de la ciència, de forma anàloga però no igual a les de la ciència professional. Sota aquest marc, i reprement la reflexió epistemològica sobre la diferència entre ciència i ciència escolar de la secció anterior, un dels objectius de l'ACE és promoure una ciència escolar per a tothom que tingui en compte tant els conceptes disciplinaris com la pròpia activitat creativa de fer, parlar i pensar ciència (Izquierdo, 2014).

L'ACE està en consonància amb els plantejaments que advoquen per què l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències es centri en una activitat escolar anàloga a l'activitat professional de la ciència. Això implica centrar l'activitat de l'aula en aquelles pràctiques cognitives, discursives i socials (Kelly, 2008) que s'han consensuat com característiques de l'activitat científica. A partir de les reflexions d'autors com Giere (1991) i Kelly i Chen (1999), Duschl i Grandy (2012), les pràctiques científiques es defineixen com: 1) construir teories i models, 2) recollir i analitzar dades provinents d'observacions o experiments, i 3) construir arguments. En el mateix sentit, Osborne (2014) proposa les tres esferes d'activitat com: 1) la generació d'hipòtesis -modelització-, 2) l'experimentació -indagació- i 3) l'avaluació de proves -argumentació-. Sota aquesta perspectiva, des de la didàctica de les ciències, les pràctiques científiques s'entenen i es promouen tant com a contingut propi a aprendre i ensenyar, com a un enfocament didàctic que proposa que per tal de construir coneixements conceptuals, procedimentals i epistèmics cal que l'alumnat participi en aquestes pràctiques. Tot i que separar aquestes dues visions és útil per entendre i reflexionar sobre el paper de les pràctiques

científiques, cal tenir en compte que a l'aula els dos enfocaments tenen lloc al mateix temps (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2012).

La perspectiva de les pràctiques científiques com a contingut a aprendre i ensenyar s'ha traslladat, també, a documents curriculars com el del National Research Council (NRC, 2012). Aquest document està d'acord amb que l'ús del terme 'pràctiques', enlloc d'altres com 'habilitats', ofereix avantatges ja que promou al mateix nivell les tres esferes de l'activitat científica (modelització, indagació i argumentació), promou la connexió entre els continguts científics i els procediments i reconeix que pot haver-hi un espectre de maneres de fer de la ciència, enlloc d'un únic 'mètode científic' (Jiménez-Aleixandre & Crujeiras, 2017).

### **2.2.2. Models i modelització**

Com s'ha discutit a la secció anterior, una de les esferes clau de l'activitat científica és la construcció de models. A la literatura, però, trobem diferents definicions del terme 'model' (Gutiérrez, 2014; Hernández et al., 2015; Oh & Oh, 2011; Oliva, 2019) que tenen diferents implicacions per a l'ensenyament i aprenentatge de les ciències. Segons la revisió d'Oh i Oh (2011) un model es pot definir com una "representació d'objectes, fenòmens, processos, idees i/o els seus sistemes" (Oh & Oh, 2011, p. 1113). Malgrat la seva voluntat aglutinadora, aquesta definició inclou models tant de naturalesa física, per exemple, maquetes o simulacions, com models de naturalesa teòrica. Sota el nostre punt de vista, per la didàctica de les ciències tenen interès aquells models científics que són de naturalesa conceptual o teòrica (Greca & Moreira, 2000) i que serveixen per descriure, explicar i predir (Gutiérrez, 2014). Així, sota aquesta perspectiva, un model científic és un artefacte epistèmic que fa referència a quines són les entitats i les "regles de joc" que utilitzem per descriure, explicar i predir un fenomen natural (Garrido-Espeja, 2016).

Si la construcció de models és una de les esferes clau per a l'activitat científica, també ho serà per a l'activitat científica escolar. En consonància amb la definició de model científic discutida anteriorment, un model científic escolar (MCE) serà anàleg al model científic, però mitjançant un procés de transposició didàctica, és a dir, una reconstrucció del contingut científic que tingui en compte la perspectiva educativa (Duit et al., 2012), s'adaptarà didàcticament a les necessitats del procés d'ensenyament i aprenentatge, per exemple, al nivell educatiu de l'alumnat (Couso & Garrido-Espeja, 2017; Izquierdo-Aymerich & Adúriz-

Bravo, 2003; Izquierdo et al., 1999). Aquests MCE, per tant, són considerats un objectiu d'aprenentatge conceptual en l'ensenyament de les ciències (Gutierrez, 2014).

D'altra banda, els MCE poden ser expressats a través de diferents analogies, dibuixos, esquemes, etc. que es faran servir per tal que l'alumnat arribi a aprendre les “regles de joc” d'aquell model (Garrido-Espeja, 2016). Tot i així, considerem que escriure un conjunt d'enunciats que recullin quines són aquestes regles de joc és útil per al disseny i implementació de seqüències d'ensenyament i aprenentatge, que anomenarem “idees del model”. Aquestes idees seran les que conformaran quin és el MCE que considerem apropiat pel nostre alumnat, útil i adaptat al fenomen a descriure (Couso, 2015). Alhora, aquestes idees també ens permetran definir quins són els MCE objectius per cada nivell educatiu (Rea-Ramirez, 2008), així com quines poden ser idees intermèdies que poden ajudar al nostre alumnat a progressar, posteriorment, cap a idees més sofisticades (Campbell et al., 2016). Cal, però, diferenciar aquests MCE que eren objectiu d'aprenentatge del que realment pensa l'alumnat, és a dir dels seus models mentals (Couso & Garrido-Espeja, 2017). Així, en aquesta tesi, i seguint la tradició del nostre grup de recerca, entenem els models mentals com les idees que té l'alumnat en relació amb el MCE en el fenomen i el context en el que les estan utilitzant, i que poden ser expressades de forma multimodal (text, dibuixos, maquetes, etc.) (Márquez & Bach, 2007).

Per tal de construir aquests models l'activitat científica més rellevant és la modelització, tot i que, com s'ha discutit anteriorment, està íntimament relacionada amb les pràctiques científiques d'argumentació i indagació.

De la mateixa manera que hi havia moltes definicions per la paraula ‘model’, també trobem una àmplia polisèmia per a la paraula ‘modelització’ (Oliva, 2019). En aquesta tesi entenem la modelització com un objectiu didàctic per a l'aula de ciències, és a dir, és allò que volem que el nostre alumnat faci a l'aula de manera que s'involucri en el mateix tipus de raonament que la ciència quan construeix explicacions científiques. Així, la modelització consistirà en que l'alumnat, de forma successiva i progressiva, expressi les seves idees sobre un fenomen, les posi a prova, les revisi en base a les noves proves o informació obtinguda i expressi un model final consensuat (Couso & Garrido-Espeja, 2017; Schwarz et al., 2009).

D'altra banda, l'enfocament en la modelització es deu no només a la seva importància epistèmica com a pràctica científica, sinó també al fet que és un enfocament didàctic que s'ha demostrat útil per al disseny de seqüències d'ensenyament i aprenentatge (Hernández et al.,

2015; Windschitl et al., 2008). En aquest sentit, diferents autors com Schwarz et al. (2009) o Windschitl et al. (2008) han fet propostes per estructurar quins són els tipus d'activitats i en quin ordre cal dur-les a terme a l'aula per tal de promoure la modelització. En el nostre context la proposta més destacada és la de Couso & Garrido-Espeja (2017) amb el Cicle de Modelització que es pot trobar a la Figura 1.

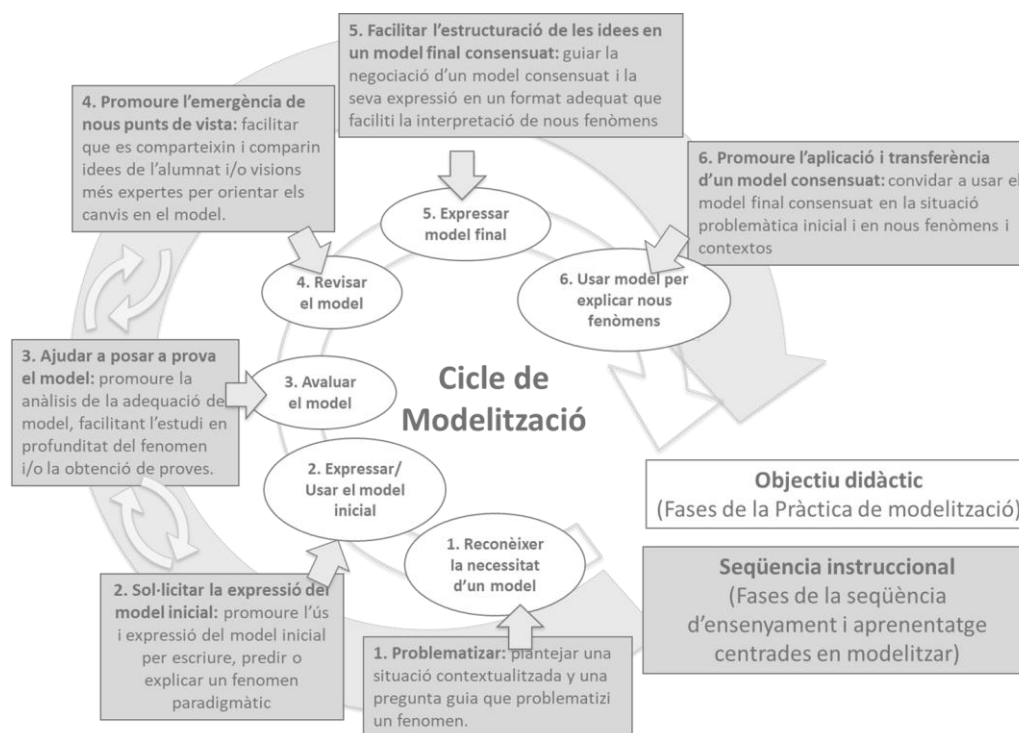


Figura 1. Cicle de Modelització actualitzat per Couso (2020) basat en Couso i Garrido-Espeja (2017).

### 2.2.3. El model d'estructura de la matèria

En l'apartat anterior hem discutit sobre la construcció de MCE amb l'alumnat mitjançant la pràctica de la modelització. Sota aquesta perspectiva, estem d'acord amb la necessitat que l'alumnat aprengui unes poques grans idees de la ciència (Harlen, 2010) amb potencial per explicar molts fenòmens (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003; Izquierdo et al., 1999).

Un d'aquests grans models de la ciència és el model d'estructura de la matèria (Harlen, 2010). En aquesta tesi, aquest model pren especial rellevància perquè és necessari per entendre i actuar sobre la problemàtica de la contaminació atmosfèrica causada per les partícules sòlides en suspensió (Tena & Couso, 2021).

Trobem molta literatura que aborda quines són les idees de l'alumnat en relació amb aquest model i com aquestes idees progressen al llarg de l'escolaritat (Gilbert & Treagust, 2009;

Hadenfeldt et al., 2014; Harrison & Treagust, 2002; Moltó et al., 2021; Talanquer, 2009). Les recerques sobre les idees de l'alumnat en relació amb la matèria apunten a diferents aspectes com l'estructura, la composició, les propietats i el tipus de matèria (Talanquer, 2009). En el context de la contaminació atmosfèrica causada per les partícules sòlides en suspensió, prenen especial rellevància aquelles idees relacionades amb l'estructura i la composició de la matèria, que són les que abordarem en aquest marc teòric.

Una de les idees clau del MCE és que la matèria està constituïda per partícules i que entre aquestes partícules hi ha buit (Talanquer, 2009). Així, autors com Hadenfeldt et al. (2014) han investigat sobre quines són les idees de l'alumnat en relació amb aquestes partícules i la presència, o no, d'una estructura subjacent entre elles. Talanquer (2009) defineix tres idees que l'alumnat pot tenir sobre la matèria: un visió contínua, una visió granular on les partícules estan incrustades a alguna altra estructura i un visió corpuscular de la matèria. A partir d'aquest treball, Hadenfeldt i col·legues, (2014) proposen 5 nivells de sofisticació (de menor a major sofisticació) en relació amb l'estructura de la matèria: el Nivell 1 on l'alumnat descriu estructures sense el concepte de partícula; el Nivell 2 on l'alumnat entén les partícules com a entitats incrustades en la matèria; el Nivell 3 on l'alumnat entén les partícules com a blocs de matèria que serveixen per constituir-la; el Nivell 4 on l'alumnat és capaç de descriure les partícules mitjançant models atòmics; i el Nivell 5 on l'alumnat és capaç de descriure i explicar l'estructura de molècules complexes. Altres autors com Moltó et al., (2021) incorporen també en els nivells de sofisticació superiors el moviment d'aquestes partícules i les seves interaccions.

Totes aquestes idees estan enfocades a entendre la matèria des d'una escala submicroscòpica (Gilbert & Treagust, 2009), que inclou al mateix temps un nivell atòmic-molecular referit a àtoms i molècules i un nivell subatòmic que aborda la pròpia estructura interna de l'àtom (Caamaño, 2020). No obstant això, el fenomen de la contaminació atmosfèrica, i d'altres com, per exemple, la transmissió d'un virus, requereix pensar en l'estructura de la matèria a nivell mesoscòpic, entre  $10^{-1}$  i  $10^{-9}$  m (Besson & Viennot, 2004; Meijer et al., 2013). Així, estem d'acord en la necessitat de reflexionar, també, sobre les idees de l'alumnat relacionades amb l'escala i la connexió entre les diferents escales de la matèria (Gkitzia et al., 2020; van Berkel et al., 2009). En el mateix sentit, Gerlach i altres (2014) assenyalen que degut a que l'alumnat està estretament lligat a l'escala humana, tots aquells objectes petits que no es poden observar directament són percebuts com objectes de mida similar, i per tant que cal treballar

aquesta escala explícitament. Sobre aquests aspectes aportem un marc teòric més extens i algunes reflexions a l'Estudi 2 d'aquesta tesi doctoral.

D'altra banda, en relació amb la composició de la matèria que forma la contaminació de l'aire, diferents autors han investigat les idees de l'alumnat sobre aquest fenomen (Boyes et al., 2007; Dimitriou & Christidou, 2007; Mandrikas et al., 2017; Skamp et al., 2004). Aquests autors han assenyalat que l'alumnat sovint assimila la contaminació de l'aire com les seves fonts de contaminació o com virus i patògens. Skamp i altres (2004) també assenyala que l'alumnat té dificultats per entendre que l'aire és una barreja de gasos que es poden diferenciar. No obstant això, trobem poca recerca que investigui sobre les idees de l'alumnat respecte la composició de l'aire contaminat.

En investigacions recents, Tena i Couso (2021) han explorat les idees de l'alumnat de primària (entre 10 i 12 anys) sobre la contaminació en termes de l'estructura i la seva composició, anomenada natura per aquestes autores. En la seva recerca han identificat dos reptes principals per a l'alumnat de primària: comprendre que l'aire és una barreja de diferents gasos i la necessitat de progressar cap a la idea de la discontinuïtat de la matèria. Malgrat que Skamp i altres (2004) assenyalen la prevalença d'algunes idees relacionades amb la contaminació atmosfèrica al llarg de l'escolaritat, en aquesta tesi doctoral s'exploraran les idees de l'alumnat en relació amb l'estructura i la natura de la matèria, seguint el terme utilitzat per Tena i Couso (2021), per a l'alumnat de secundària (entre 14 i 15 anys).

Totes aquestes idees de l'alumnat en relació amb el model matèria i la contaminació de l'aire poden servir com a punt de partida, juntament amb altres elements com, per exemple, l'anàlisi epistemològic del contingut curricular (Duit et al., 2012), per al disseny de seqüències d'ensenyament-aprenentatge que busquin mobilitzar aquestes idees i ajudar a l'alumnat a construir models més sofisticats. A la següent secció aprofundirem en els referents teòrics sobre el disseny i l'avaluació d'aquestes seqüències didàctiques.

## **2.3. Disseny i avaluació de seqüències d'ensenyament-aprenentatge**

### **2.3.1. Recerca sobre el disseny de seqüències d'ensenyament-aprenentatge**

Existeix consens en la didàctica de les ciències sobre la importància de connectar la teoria i els resultats de la recerca amb el disseny de seqüències d'ensenyament-aprenentatge (SEA a partir d'ara) que siguin útils per l'aula (Guisasola et al., 2021; Romero-Ariza, 2014; van den

Akker et al., 2006). Entenem les SEAs des de la perspectiva de Méheut i Psillos (2004), és a dir, com una activitat de recerca intervencionista i un producte que inclou activitats d'ensenyament i aprenentatge fonamentades en recerca i empíricament adaptades al raonament de l'alumnat i que, a vegades, també compta amb les guies pel professorat.

Des dels anys 80 i fins a dia d'avui, diferents autors han proposat marcs i eines per guiar el disseny i l'avaluació d'aquestes SEAs. Algunes de les propostes més rellevants centrades en el disseny de SEAs en l'àmbit de l'ensenyament i aprenentatge de les ciències són l'enginyeria didàctica (Artigue, 1988), el model de reconstrucció educativa (Duit et al., 2005), els *learning demands* (Leach & Scott, 2002) i els *design briefs* (Leach et al., 2010), les estructures didàctiques (Linjse, 1995) o la teoria dels dos mons (Buty et al., 2004). Malgrat que cadascuna d'aquestes propostes s'enfoca a diferents aspectes concrets del disseny d'una intervenció, ja sigui la pròpia estratègia d'ensenyament o el tipus d'interacció que es dona a l'aula, estem d'acord amb Guisasola i col·legues (2021) en que totes elles tenen algunes característiques comunes. Aquestes propostes comparteixen la necessitat de tenir en compte les recerques sobre idees alternatives de l'alumnat, una visió socioconstructivista de l'aprenentatge, basar-se en una anàlisi epistemològica del contingut curricular que es vol treballar per tal de definir els objectius d'aprenentatge, dissenyar les activitats en funció de resultats de recerca i presentar evidències de l'aprenentatge de l'alumnat.

Totes aquestes característiques es poden considerar principis de disseny que han de fonamentar qualsevol SEA. Jiménez Liso i col·legues (2023) proposen set tipus de principis de disseny: principis psicològics relacionats amb la concepció de l'aprenentatge i quin és el paper de l'alumnat; principis didàctics relacionats amb la concepció de l'ensenyament; principis ideològics relacionats amb la concepció de la finalitat de la ciència i l'educació científica; principis epistemològics relacionats amb la concepció del coneixement i la seva forma de validar-se; principis conceptuals relacionats amb l'elecció de grans idees i models de la ciència i com es transformen en idees i models científics escolars; principis contextuals relacionats amb el propi context de l'alumnat, la proximitat del context de la SEA per a l'alumnat i els propis materials utilitzats a l'aula; i principis afectius i emocionals relacionats amb les emocions que es produeixen quan s'aprèn i s'ensenyà ciència. Estem, d'acord que tot i guiar el disseny, degut al seu grau de generalitat aquests principis no ajuden ni als docents ni als investigadors amb la tasca de disseny, i calen eines de disseny que s'utilitzin explícita i intencionalment per prendre decisions (Leach et al., 2010). Així, en aquesta tesi s'utilitzaran els nivells de concreció proposats per Jiménez Liso i col·legues (2023) per als principis de

disseny en elements i eines de disseny, com a segon i tercer nivell de concreció de més general a menys.

Totes aquestes característiques que s'han trobat comunes en les diferents propostes de disseny de SEAs ressonen amb algunes característiques del marc de la recerca basada en el disseny (DBR de les seves sigles en anglès) (Cobb et al., 2003; Plomp & Nieveen, 2013; The Design-Based Research Collective, 2003) que ha guanyat visibilitat en els últims anys. El marc DBR pretén donar resposta a problemes educatius complexos mitjançant el disseny, el desenvolupament i l'avaluació de SEAs basades en la recerca, alhora que busca ampliar o validar teories humils que ajudin a entendre com s'aprèn, quins processos donen lloc a un determinat tipus d'aprenentatge i quines són les característiques clau de les propostes que potencien aquest aprenentatge (Romero-Ariza, 2014). Sovint és difícil diferenciar entre les propostes de DBR i el disseny de SEAs fonamentades en recerca (Jiménez Liso et al., 2023). Guisasola i col·legues (2021), en la seva comparativa entre les propostes DBR i el disseny de SEAs fonamentades en recerca assenyalen que el DBR és una continuïtat del disseny de SEAs, però que està orientada a la teoria de forma explícita, a més de ser de caire iteratiu i pragmàtic.

Tot i que compartim postulats amb el marc DBR, en aquesta tesi no ens hem centrat en investigar sobre el procés de disseny, implementació i avaluació amb l'objectiu de contribuir a la teoria, sinó que hem posat el focus en la presa de decisions en el procés de disseny d'una SEA (Jiménez-Liso et al., 2021) i la seva posterior avaluació, marc en el que aprofundirem en la següent secció.

### **2.3.2. Avaluació de seqüències d'ensenyament-aprenentatge**

Avaluar les SEAs de forma rigorosa i fonamentada és essencial per millorar-ne la seva qualitat, així com per millorar també els principis de disseny que la guien (Plomp & Nieveen, 2013; van den Akker et al., 2006). Estem d'acord, però, que el terme 'qualitat' és molt abstracte i és necessari concretar a què ens estem referint i què estem avaluant (van den Akker, 2013).

Per tal d'avaluar les SEAs, Hernández (2018) proposa l'ús dels diferents aspectes tant del disseny de la pròpia seqüència, com també de la pròpia implementació i dels resultats d'aprenentatge obtinguts. A partir d'aquesta proposta, Tena i Couso (2023), basant-se també en les propostes d'autors com Méheut i Psillos (2004), detallen aquests processos o elements

en 4 aspectes per a l'avaluació de la qualitat: els objectius d'aprenentatge, els materials educatius, la implementació de la SEA i els propis resultats d'aprenentatge.

En aquest sentit, Tena i Couso (2023) proposen un marc analític operatiu per l'avaluació, que té en compte les relacions entre el propi disseny de la SEA amb la implementació i els propis resultats i productes de la recerca, que es reproduïx a la Figura 2 i que serà utilitzat en aquesta tesi. En aquest marc es defineixen tres dimensions que són mesurables per avaluar la qualitat d'una SEA: la validesa, la utilitat i la confiabilitat. Alhora, cadascuna d'aquestes dimensions es concreta en criteris de realització: la validesa es concreta amb la coherència interna i la coherència teòrica, la utilitat es concreta amb la practicitat i la productivitat i la confiabilitat amb l'eficàcia nivell 1 (o del disseny), nivell 2 (o dels resultats) i nivell 3 (de les teories).

En aquesta tesi ens centrarem en l'avaluació de l'eficàcia nivell 2 (o dels resultats) que avalua la relació entre els objectius d'aprenentatge, és a dir el que s'espera que l'alumnat aprengui, i els resultats d'aprenentatge, és a dir les proves que tenim que evidencien què ha après l'alumnat. I, concretament, ens centrarem en objectius d'aprenentatge conceptuals, és a dir, sobre les idees del model matèria de l'alumnat.

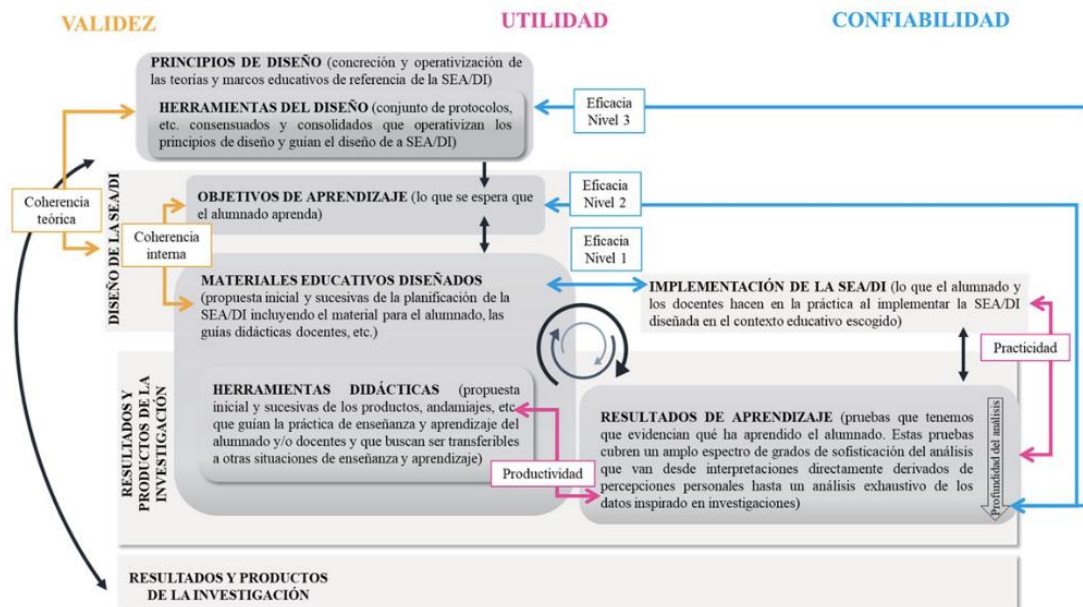


Figura 2. Reproducció del marc analític operatiu per a l'avaluació de SEAs proposat per Tena i Couso (2023).



### 3. Objectius de la recerca

#### 3.1. Objectius i preguntes de recerca

Amb la finalitat de contribuir als reptes mencionats anteriorment, aquesta tesi busca investigar i reflexionar sobre quin és el potencial educatiu de les iniciatives de ciència ciutadana que tenen lloc en context escolar. Per fer-ho, en un primer moment la tesi es centra en una revisió sistemàtica de la literatura amb l'objectiu de poder establir un marc sobre com són les iniciatives de ciència ciutadana en contextos d'educació formal que s'han dut a terme en els últims anys. En un segon moment, aquesta tesi focalitza en el disseny i caracterització d'una iniciativa de ciència ciutadana en context escolar concreta: el Projecte Atenció, i aprofundeix en la recerca sobre la seva dimensió educativa en termes de la millora de l'aprenentatge conceptual de l'alumnat participant. A continuació, es presenten els objectius i preguntes de recerca que guien aquesta tesi doctoral i que s'han dividit en dos estudis.

#### **Objectius i preguntes relatius a l'Estudi 1:**

**Objectiu 1.** Caracteritzar les iniciatives de ciència ciutadana que tenen lloc en context escolar.

P1.1. Quines són les dimensions clau que caracteritzen una iniciativa de ciència ciutadana en context escolar?

P1.2. Quins perfils d'iniciatives de ciència ciutadana en context escolar podem identificar a la literatura?

P1.3. Quina és la qualitat de les d'iniciatives de ciència ciutadana en context escolar?

P1.4. Quin és el perfil i la qualitat de la iniciativa de ciència ciutadana en context escolar 'Projecte Atenció'?

#### **Objectius i preguntes relatius a l'Estudi 2:**

**Objectiu 2.** Analitzar la qualitat, en termes de la millora de les idees de l'alumnat sobre el model matèria, d'una seqüència d'ensenyament-aprenentatge sobre la problemàtica de la contaminació atmosfèrica dissenyada per a alumnat de 3r d'ESO (14-15 anys).

P2.1. Quins són els principis, elements i eines de disseny de la seqüència d'ensenyament-aprenentatge del 'Projecte Atenció'?

P2.2. Quina és la qualitat de la seqüència d'ensenyament-aprenentatge del 'Projecte Atenció' en relació amb la progressió de les idees del model de l'alumnat?

### **3.2. Estructura de la tesi**

Per a la realització d'aquesta tesi s'ha seguit l'estructura de compendi de publicacions. Per aquest motiu, a continuació, a la Figura 3, es presenta una relació entre les diferents preguntes de recerca proposades i els articles que els hi donen resposta i que conformen el cos central de la tesi. D'altra banda, aquelles preguntes que no tenen associada una publicació de recerca s'han respost mitjançant un capítol desenvolupat en aquest document.

Cal destacar que els dos estudis d'aquesta tesi també han generat productes de recerca en forma d'articles de transferència i materials educatius, que també s'inclouen en aquesta Figura 3, i que creiem que són essencials per reflectir el context, els resultats i les implicacions de la recerca que s'ha dut a terme.

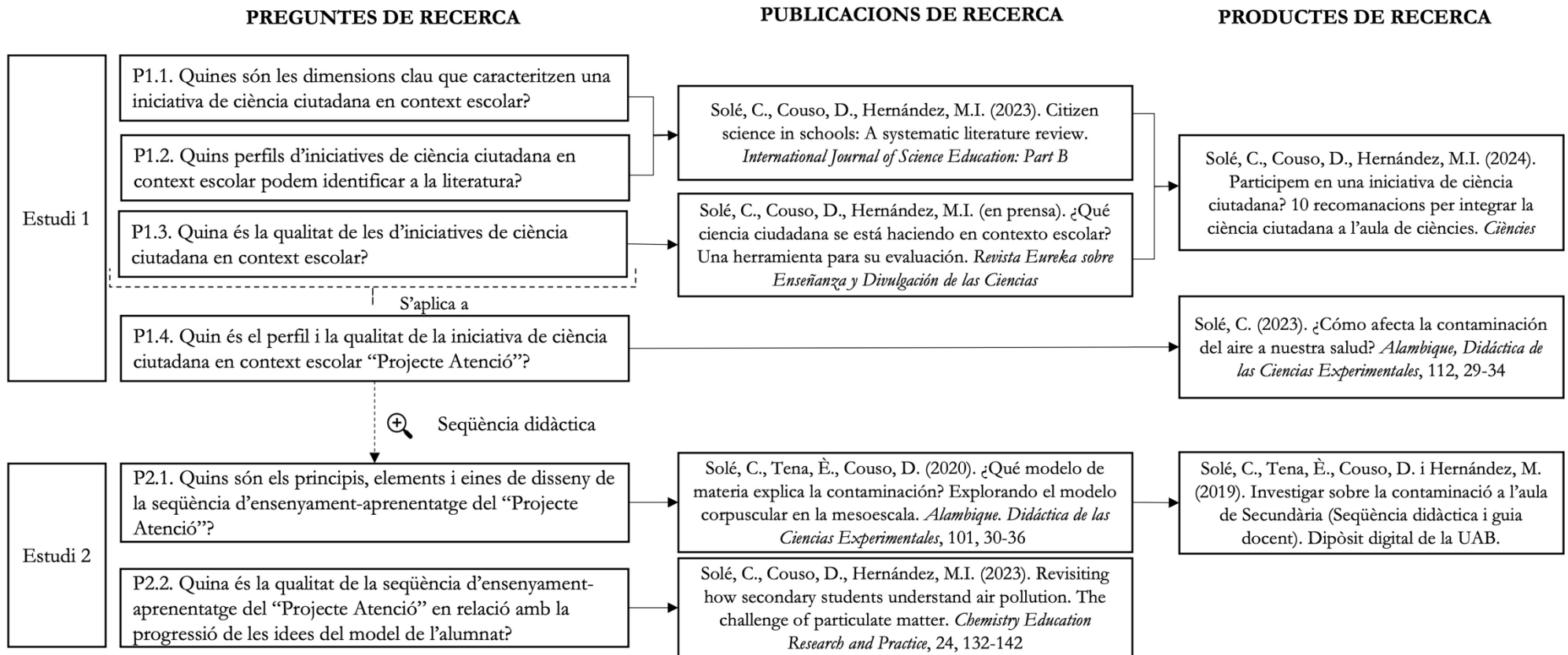


Figura 3. Esquema dels estudis i preguntes de recerca que conformen la tesi en relació amb les publicacions del compendi.



---

**SECCIÓ II. DESENVOLUPAMENT DE LA  
RECERCA**

---

**ESTUDI 1**

**ESTUDI 2**





## **ESTUDI 1. Caracteritzant la ciència ciutadana a les aules de ciències**



## 4. ESTUDI 1. Caracteritzant la ciència ciutadana a les aules de ciències

### 4.1. Introducció a l'Estudi 1

En aquest estudi es dona resposta a l'Objectiu 1 que busca caracteritzar les iniciatives de ciència ciutadana que tenen lloc en context escolar. Per tal de fer-ho, a continuació es presenten les recerques que aborden les diferents subpreguntes d'aquest objectiu en forma d'articles de recerca.

L'article "Citizen science in schools: A systematic literature review" publicat a la revista *International Journal of Science Education. Part B* respon a les preguntes P1.1. i P1.2. que busquen identificar les dimensions clau que caracteritzen les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar i caracteritzar els diferents perfils d'aquestes iniciatives.

L'article "¿Qué ciencia ciudadana se está haciendo en contexto escolar? Una herramienta para su evaluación" acceptat per a la seva publicació a la *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* respon a la pregunta P1.3. que busca analitzar la qualitat d'aquestes iniciatives segons la seva missió científica i educativa.

En tots dos articles s'ha seguit la mateixa estratègia de recollida de dades: una revisió sistemàtica de la literatura sota el protocol PRISMA (Page et al., 2021) i que es detallarà a la següent secció 4.2. així com en cadascun dels articles.

A partir dels resultats presentats en aquestes dues publicacions, es presenta un producte de recerca en forma d'article de transferència basat en la recerca titulada "Participem en una iniciativa de ciència ciutadana? 10 recomanacions per integrar la ciència ciutadana a l'aula de ciències" que té per objectiu orientar a equips docents, equips científics i equips de divulgació a l'hora de dissenyar i participar en una iniciativa de ciència ciutadana a les aules tenint en compte el seu potencial educatiu.

Finalment, aquest estudi compta amb l'aplicació de les dimensions, els perfils i la gradació de la qualitat de les iniciatives de ciència ciutadana analitzats en les preguntes de recerca anteriors pel cas del 'Projecte Atenció', recollida a la pregunta P1.4.

El 'Projecte Atenció' va ser una iniciativa coliderada per l'Institut de Salut Global (ISGlobal) de Barcelona i el Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica (CRECIM) de

la Universitat Autònoma de Barcelona amb el finançament del programa Recercaixa. Aquest projecte tenia un doble objectiu sota el marc de la ciència ciutadana. D'una banda, investigar la relació entre l'atenció dels i les joves d'entre 14 i 15 anys i l'exposició a la contaminació atmosfèrica de curta durada. D'altra banda, alfabetitzar i apoderar a la comunitat educativa, i especialment a l'alumnat, en la presa de decisions i actuació respecte a la problemàtica de la contaminació de l'aire. Amb aquests objectius, es va involucrar a una trentena d'instituts de secundària de Barcelona i la seva Àrea Metropolitana amb el seu alumnat de 3r d'ESO durant el curs 18-19 i el curs 19-20.

Per tal de recollir la implementació del 'Projecte Atenció' es presenta un producte de recerca en forma d'article de transferència titulat "¿Cómo afecta la contaminación del aire a nuestra salud?" publicat a la revista *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales* on es descriu i es justifica com es va dissenyar i dur a terme el Projecte Atenció, quina va ser la contribució de l'alumnat als objectius científics i quina va ser la contribució de la iniciativa a l'alumnat. Considerem que aquest article és un producte de recerca que pot facilitar l'accés als docents a un projecte de ciència ciutadana escolar que té en compte els consensos en didàctica de les ciències, i per tant, pot ser una eina per al disseny i implementació de noves iniciatives, així com per apropar la recerca en didàctica i les aules (Blanco-López et al., 2018).

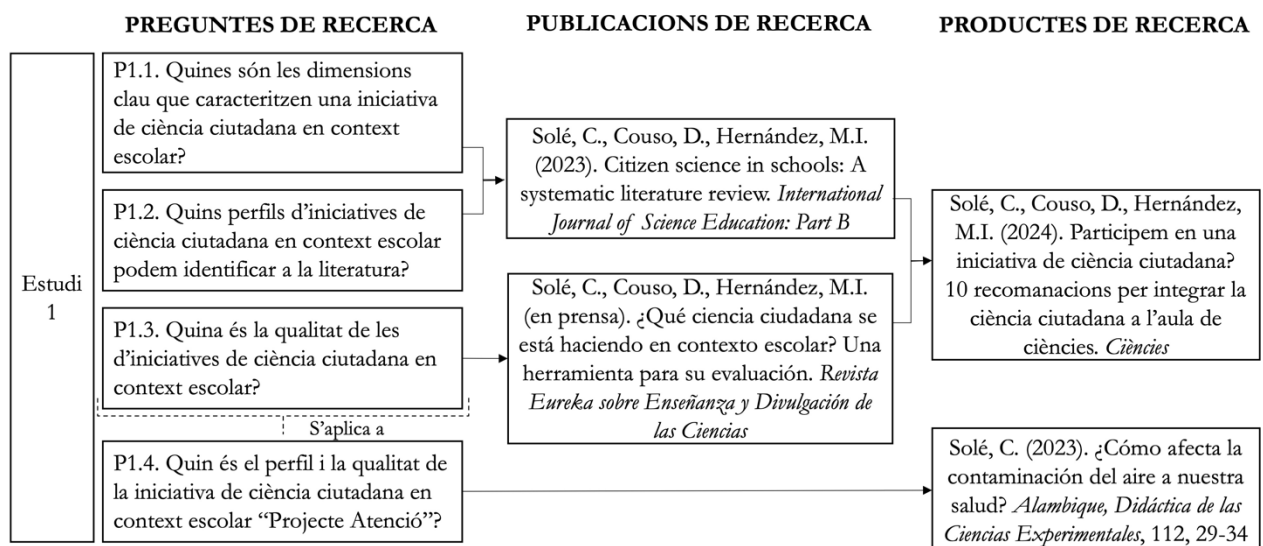


Figura 4. Esquema de les preguntes i publicacions que donen resposta a l'Estudi 1.

## 4.2. Metodologia de recollida i anàlisi de dades

### 4.2.1. Paradigma de la recerca

Aquest estudi s'emmarca dins d'un paradigma interpretatiu de la recerca que es basa en que la realitat no es pot deslligar de la subjectivitat de cada persona i el context en el que es dona, i per tant, la teoria generada per la recerca emergeix de situacions particulars (Cohen et al., 2018). Sota aquest paradigma, ens situem en una anàlisi mixta (quantitativa i qualitativa) de dades qualitatives, ja que ens permet, d'una banda, entendre i aprofundir en el fenomen i comprendre'n les diferents dimensions i com es relacionen entre elles, i al mateix temps, ens permet quantificar aquestes dimensions (Neuman, 2014).

### 4.2.2. Recollida de dades

Per tal de respondre a les preguntes P1.1, P1.2 i P1.3 s'ha dut a terme una revisió sistemàtica de la literatura com a estratègia de recollida de dades per tal de seleccionar iniciatives de ciència ciutadana en context escolar. Estem d'acord amb Bennett i altres (2005) que defensen que una revisió sistemàtica de la literatura en l'àrea de didàctica de les ciències no pot ser un fi en si mateix sinó que ha de buscar respondre altres preguntes, així com dotar la pràctica d'evidències de recerca. Sota aquesta perspectiva, hem dut a terme una revisió sistemàtica de la literatura seguint el protocol PRISMA (Page et al., 2021) per a la identificació, filtració i selecció d'articles.

Per a la fase d'identificació d'articles s'ha utilitzat la base de dades de *Web of Science* cercant articles publicats entre l'any 2000 i el 2021 a través de la següent combinació de paraules clau: “citizen science” al títol de l'article i “classroom” o “school\*” o “student\*” o “pupil\*” o “learning” al tema de la cerca. Aquesta elecció de base de dades, anys i paraules clau respon a diferents decisions com a investigadores que considerem necessari justificar. En primer lloc, s'ha seleccionat la base de dades *Web of Science* perquè buscàvem iniciatives que haguessin tingut algun impacte a nivell de recerca i, per tant, es trobessin publicades en una base de dades de reconegut prestigi internacional. D'altra banda, malgrat que el terme “citizen science” es va començar a utilitzar a meitats dels anys 90 per autors com Irwin (1995) o Bonney (1996), sota aquesta combinació de paraules clau no hi havia cap article a la base de dades anterior a l'any 2000. En relació amb l'elecció del terme “citizen science” també cal destacar que hi ha altres termes com “participatory science”, “community science” o “public participation in science” que, sobretot en els primers anys, es van fer servir per a iniciatives molt similars. Malgrat això, la nostra recerca pretenia enfocar-se a aquelles iniciatives que

s'autoanomenen de ciència ciutadana, i per tant, les altres no es van incloure com a paraula clau. Finalment, amb aquesta primera selecció de paraules clau es van obtenir 644 articles, i es va considerar suficient per desenvolupar la fase de filtració.

Després de filtrar en una primera fase per qüestions tècniques (articles duplicats, articles en idiomes diferents de l'anglès, articles no disponibles en cap repositori, notes de retracte d'articles o articles incomplets), es van establir 4 criteris d'exclusió que es van aplicar en dues rondes de filtratge, la primera aplicant els criteris a partir del títol i el resum de l'article, i posteriorment, aplicant els criteris després de la lectura completa de l'article. Els criteris d'exclusió van ser els següents:

- A. Publicacions que no estaven relacionades amb experiències de ciència ciutadana sobre temes científics dins d'aules d'escoles o instituts.
- B. Iniciatives que només involucraven alumnat de forma voluntària, i que per tant, no eren un projecte de tot un grup-classe.
- C. Publicacions que no explicaven en què s'involucrava l'alumnat a la iniciativa de ciència ciutadana.
- D. Publicacions que es centraven a explicar iniciatives de ciència ciutadana en el període de confinament per Covid-19 o les seves adaptacions a aquest context.

Després d'aplicar aquests criteris d'exclusió vam seleccionar 49 articles. El detall del diagrama de flux de les diferents fases d'identificació, filtratge i inclusió es poden trobar a la Figura 1 de l'article "Citizen science in schools: A systematic literature review" i es reproduïx a continuació.

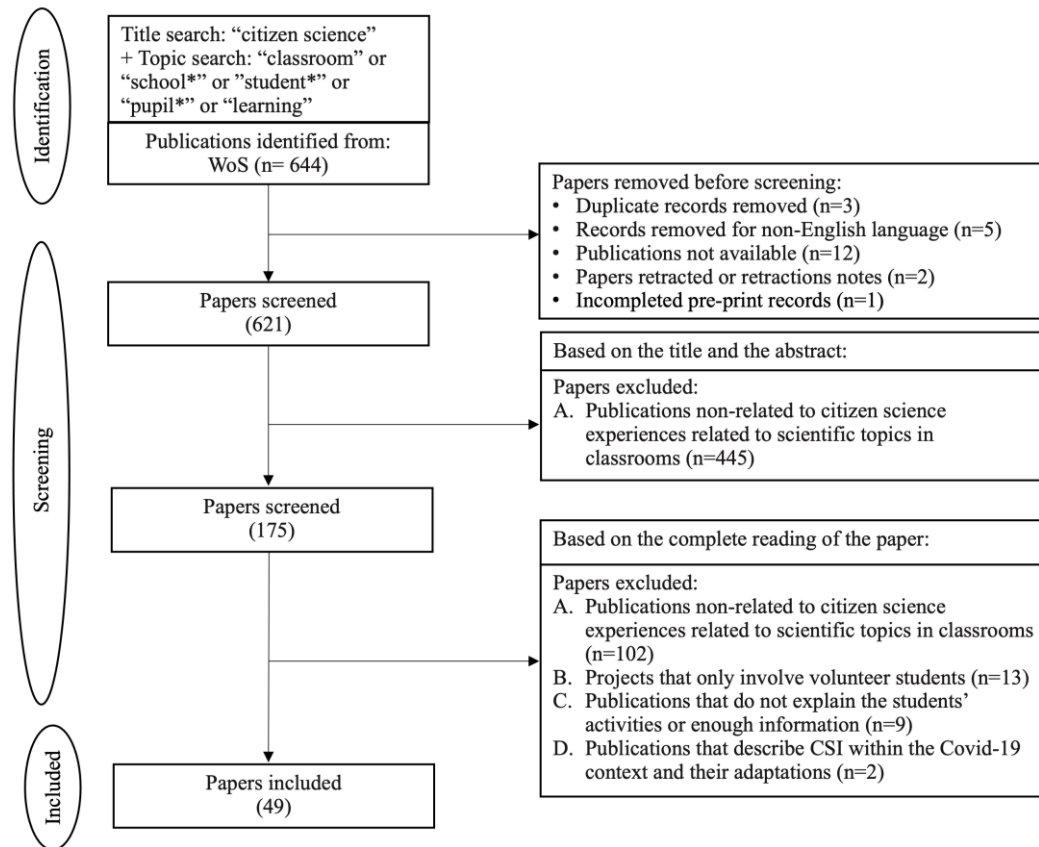


Figura 5. Diagrama de flux per a la selecció d'articles basat en el protocol PRISMA (Page et al., 2021). Reproducció de l'article "Citizen science in schools: A systematic literature review" publicat a la revista *International Journal of Science Education, Part B*.

Cal destacar que tant el registre de tots els articles de la base de dades inicial, així com els criteris d'exclusió aplicat per cadascun d'ells es troben publicats a Solé et al., (2023) al repositori obert Zenodo amb l'objectiu de transparentar el procés i fer-lo accessible per a la comunitat investigadora.

#### 4.2.3. Anàlisi de dades

Per a l'anàlisi de dades s'ha seguit la proposta feta per Miles i altres (2014) que detalla una primera fase de preparació de les dades per al seu processament, i una segona i tercer fase per a la codificació iterativa d'aquestes dades. Malgrat que per cadascuna de les preguntes de recerca que aborden aquest estudi s'ha emprat un sistema de codificació i instruments d'anàlisi propis que es detallen en cadascun dels articles d'aquest compendi, a continuació es descriurà el procés de preparació de les dades i la primera fase de codificació que ha sigut comuna en tots els subestudis.

Després de la selecció dels articles que conformen la revisió sistemàtica de la literatura, va ser necessari identificar les diferents iniciatives que apareixien a les publicacions. Això ens va permetre identificar 46 iniciatives de ciència ciutadana en context escolar, ja que tres iniciatives apareixien a dos articles diferents.

Posteriorment, a partir d'una submostra de 10 iniciatives, a través d'un procés iteratiu entre les tres investigadores, es van definir les dimensions que es volien investigar. A partir d'aquestes dimensions, es van seleccionar les unitats d'anàlisi, corresponents a cites textuais dels articles analitzats per cadascuna de les iniciatives que feien referència a cadascuna de les dimensions, en cas que n'hi hagués.

Per tal de recollir totes les unitats d'anàlisi, es va crear una base de dades amb les cites textuais dels articles per cadascuna de les iniciatives i les dimensions estudiades. Es pot veure un exemple d'aquesta base de dades a la Figura 6.

|    | A                             | B  | C   | D  | E  | F   | G  | H  |
|----|-------------------------------|--|---|--|--|---|--|--|
|    | <b>Name of the initiative</b> | <b>Authors</b>   | <b>Which are the reported objectives of the CSI? FOR LEARNING</b>   | <b>Which are the reported objectives of the CSI? FOR SCIENCE</b>   | <b>In which aspects do students contribute to the CSI (in terms of the development scientific knowledge)?</b>  | <b>In which aspects does the CSI contribute to students (in terms of the development of their scientific competence)?</b>   | <b>What kind of support is provided? FOR LEARNING</b>  | <b>What kind of support is provided? FOR SCIENCE</b>   |
| 1  | Wolbachia Project             | Lemon, Athena; Bordenstein, Sarah R.; Bordenstein, Seth R. | The outcome of The Wolbachia Project is to enable and share the whole process of scientific exploration, from sample collection to data analysis and critical reflection. | Engagement with the wider global scientific community begins as each investigator asks if their Wolbachia sequence, arthropod, or Wolbachia–arthropod combination is novel to the published sequence databases and literature. // Research scientists cannot sample all of these host species nor discover new lineages of Wolbachia on their own. | Each investigator selects, collects, and identifies arthropods in their own environment, whether it be their backyard, built environment, nearby park, or school- yard (Figure 2). Participants make observations on the local biodiversity and create hypotheses relating to whether their arthropod is Wolbachia positive or negative. | Discover the Microbes Within! The Wolbachia Project is a proven, integrated lab series designed to bring real-world, scientific research into classrooms and engage participants in the biodiversity of their natural and built environments, critical thinking, the scientific method, biotechnology, animal–microbe–virus symbioses, and genetics | The Wolbachia Project launched online resources and technical support to continue scientific literacy and problem- based learning. | The Wolbachia Project provides access to techniques that are common in a biological research laboratory but may not be common in a classroom or citizen scientist setting. This hands-on expo- sure to the scientific process and method continues as inves- tigators amplify Wolbachia and arthropod-specific DNA via polymerase chain reaction (PCR), using primers and positive and negative controls supplied by The Wolbachia Project |
| 26 |                               |  |   |  |  |   |  |  |

Figura 6. Reproducció de la base de dades creada amb les unitats d'anàlisi (cites textuais) per cadascuna de les iniciatives en relació amb les dimensions de l'anàlisi.

### 4.3. Resultats: Identificació de les dimensions i caracterització dels perfils de les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar

Per tal de respondre a les preguntes de recerca P1.1. i P1.2. a continuació es presenta l'article "[Citizen Science in schools: A systematic literature review](#)" publicat a la revista *International Journal of Science Education: Part B* i que es reproduïx a continuació amb permís de l'editorial per a la reproducció d'articles en tesis doctorals.

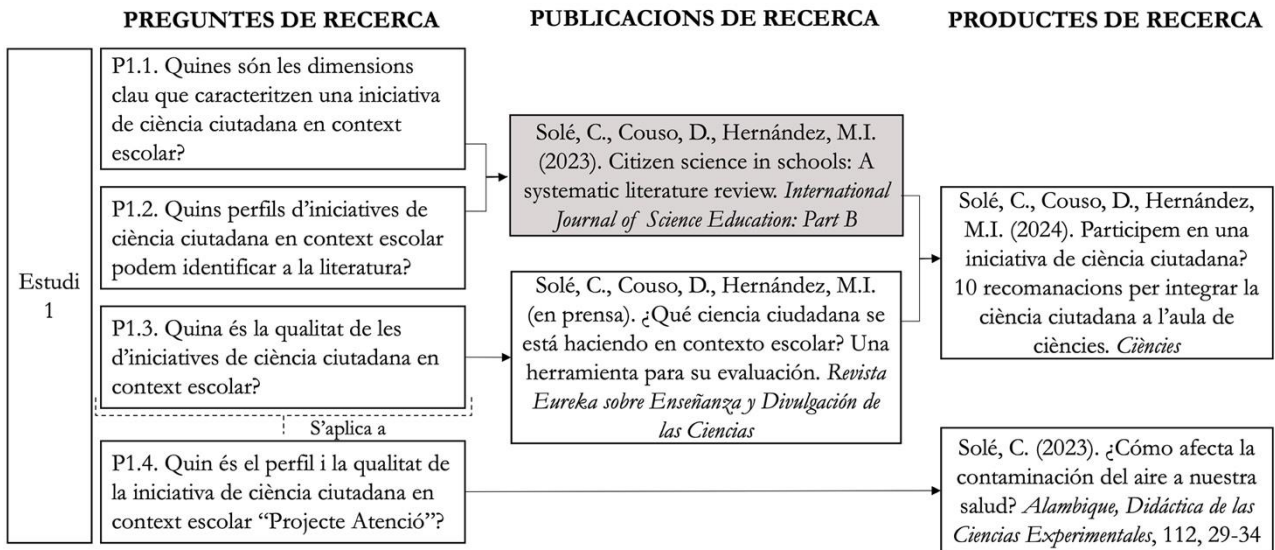


Figura 7. Esquema de l'Estudi 1 de la tesi on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i les altres publicacions que conformen aquest estudi.

### 4.3.1. Article “Citizen science in schools: A systematic literature review”

INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION, PART B  
<https://doi.org/10.1080/21548455.2023.2280009>



## Citizen science in schools: a systematic literature review

Caterina Solé <sup>a</sup>, Digna Couso <sup>a</sup> and María Isabel Hernández <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra (Cerdanyola del Vallés), Spain; <sup>b</sup>Departament d'Educació, Generalitat de Catalunya, Barcelona, Spain

#### ABSTRACT

Citizen science has proven to be a useful paradigm both to contribute to science and to increase the public understanding of science. Thus the connection between citizen science and schools offers an interesting approach to explore. However, a lot of questions and challenges remain unclear, such as the balance between scientific and educational goals. In this research, we explore how citizen science initiatives have been implemented in formal education contexts through a systematic literature review. The final aim is to identify relevant characteristics, define profiles of initiatives and offer future implications. Through the PRISMA Protocol, we have selected 46 published citizen science initiatives to analyse. Our findings show four different profiles of citizen science initiatives in schools: Students using science, Students helping science, Students learning science collecting data and Students learning science by acting as scientists. From the discussion of these profiles, we suggest some considerations for researchers and designers.

#### KEYWORDS

Citizen science; science education; systematic review

### Introduction

In the last two decades, initiatives that combine public engagement in scientific research have been strongly promoted (Vohland et al., 2021). Among others, citizen science initiatives have been presented as good scenarios for increasing public understanding of science and for developing high-quality scientific knowledge (Weigelhofer et al., 2019). Citizen science offers the opportunity to contribute to scientific knowledge considering ethical values of democratic participation and inclusiveness (Vohland et al., 2021). Citizen science does not only address societal challenges from a value-driven perspective but also allow the scientific community to, for example, obtain data that would be impossible to collect without the participation of the affected community (Webber et al., 2021).

Because of their intrinsically participatory approach, these types of experiences are usually implemented in the context of informal education with youngsters and adults. However, they could offer benefits in primary and secondary schools (Zoellick et al., 2012) in the context of formal education. The specific context of citizen science projects in formal education can be analysed both considering the scientific and educational dimensions. From the science perspective, scientists receive the contribution of students and their teachers, for instance as data gathering support or quality filters, at the same time that they raise awareness of their research topic (Harlin et al., 2018). Some authors have researched about the quality of data obtained by students and they have shown that robust and reliable data could be collected (Galloway et al., 2006; Weigelhofer et al., 2019). From the educational point of view, these initiatives offer the opportunity to students and teachers to be involved in an authentic research process in their context. That approach has the

**CONTACT** Caterina Solé [Caterina.sole@uab.cat](mailto:Caterina.sole@uab.cat) Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra (Cerdanyola del Vallés) 08193, Spain

© 2023 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

potential for students to participate in scientific practices such as modelling, inquiry and arguing (Osborne, 2014) and reflecting about the nature of science.

Despite the potential benefits, one of the challenging problems is that the goal of science and the goal of formal education may not necessarily always align (Roche et al., 2020). Furthermore, challenges such as the students' motivation, the engagement of teachers, the connection to curricula or the balance between the different expectations and objectives should be addressed to have successful initiatives both for science and education (Kloetzer et al., 2021).

From a research viewpoint, there are many open questions to be explored regarding how citizen science in schools is organised and implemented: Which is the engagement of scientists, teachers and students in those proposals? Does a balance exist between scientific and educational perspectives in the citizen science initiatives in school contexts? Are there different types of initiatives under the same term? Even though the existence of abundant literature reflecting on this topic, more comparative research is needed to really understand what is happening in classrooms when engaged in real citizen science initiatives.

In this paper, we explore how citizen science initiatives have been implemented in formal education contexts through a systematic literature review with the aim to identify their main characteristics and particular profiles. The final goal is to offer empirically-based knowledge that could guide future work in the field of citizen science in schools.

## Background

Citizen science is a big concept that includes a wide range of different initiatives that share the goal to engage citizens in activities scientifically valuable (Haklay et al., 2021; Hecker et al., 2018). Many researchers and associations have tried to classify and cluster these initiatives depending on the steps of the scientific process in which citizens are involved (Bonney et al., 2009) or the type of activity that is required, such as activities of collective intelligence or pooling of resources (Serrano et al., 2014). Others, such as the ECSA 10 principles of citizen science in Europe (ECSA, 2015), tried to establish which are the main elements expected of those initiatives.

One of these suitable characteristics of citizen science initiatives is that both professional scientists and citizen scientists benefit from taking part (ECSA, 2015; Stylinski et al., 2020). The contribution to scientific outcomes in tandem with citizen scientists' development of scientific literacy is a clear goal of citizen science initiatives (Golombic et al., 2020; Lewenstein, 2016; Roche et al., 2020). In this context, connecting citizen science initiatives and schools seems like a natural step (Harlin et al., 2018). The inclusion of citizen science in formal education, in primary or secondary schools, implies specific characteristics and challenges that have to be addressed for success. However, there are not clear profiles of citizen science initiatives in formal education contexts in the literature.

### *Which are the objectives of citizen science initiatives in formal education?*

The main challenge identified in previous literature of citizen science initiatives in formal education is the balance between scientific and educational goals (Harlin et al., 2018). On one hand, a genuine scientific research question has to be addressed with the data quality and quantity required (Kelemen-Finan et al., 2018). On the other hand, as the objective of formal science education is to increase students' scientific literacy, the initiative has to include some specific educational objectives connected to the school curriculum. Thus equal emphasis in both objectives is needed to have a successful ongoing citizen science project in schools (Zoellick et al., 2012).

### *In which aspects do students aim to contribute to the citizen science initiatives?*

Citizen scientists could contribute to scientific objectives from different roles. They could contribute choosing or defining the questions of the study, developing explanations, designing data

collection methodologies, collecting samples, analysing samples, interpreting and drawing conclusions, disseminating conclusions or discussing new results (Bonney et al., 2009). Different authors clustered these steps defining different types of citizen science projects, as Bonney et al. (2009) in their popular classification of contributory (public contribute data), collaborative (public contribute data but also help to refine project design, analysing or disseminating findings) or co-created projects (scientists and public working together in most or all steps), or Shirk et al. (2012) in their ampliation of that proposal with also contractual (public asking professional researchers to conduct an investigation) and collegial projects (public conducting research independently with varying degrees of expected recognition by professionals).

Depending on the degree of public participation in citizen science initiatives expressed in the previous models, the outcomes and costs of them will vary. In terms of the non-professional citizen scientists, as much participation they are involved more outcomes will be reported, such as science process skills or interpreting data. However, more costs will be present, such as a commitment and responsibility for planning for action outcomes during design phase and implementing plan (Shirk et al., 2012).

#### ***In which aspects do the citizen science initiatives aim to contribute to students?***

Regarding learning objectives, some authors point out that every person who participates in a citizen science initiative is also involved in a learning process of skills (Stylinski et al., 2020) and scientific concepts and processes (Roche et al., 2020). Some efforts are put to articulate a framework to measure learning outcomes from participation in citizen science initiatives. For example, Phillips et al. (2018) propose six possible learning outcomes: interest, self-efficacy, motivation, content, process and nature of science knowledge, skills of science inquiry and behaviour and stewardship. However, classroom contexts are different from what can be observed in general public citizen science initiatives (Harlin et al., 2018), not only because of the age or conditions of participants (e.g. because they are not volunteers) but also because in those school context initiatives, learning objectives being aligned to the school science curricula are crucial. In that sense, Bell et al. (2009) propose six strands of learning aligned with science education research: (1) experience excitement, interest, and motivation to learn about a phenomena in the natural and physical world; (2) come to generate, understand, remember and use concepts, explanations, arguments, models and facts related to science; (3) manipulate, test, explore, predict, question, observe and make sense of the natural and physical world; (4) reflect on science as a way of knowing: on processes, concepts and institutions of science, and on their process of learning about phenomena; (5) participate in scientific activities and learning practices with others, using scientific language and tools; (6) think about themselves as science learners and develop an identity as someone who knows about, uses, and sometimes contributes to science.

#### ***What kind of support is provided to achieve the aims?***

To achieve those goals, citizen science initiatives in formal education contexts should consider at the same level both the needs of scientists and the schooling community, in particular teachers and students (Harlin et al., 2018). Teachers are requested to invest additional resources for implementing the initiative, adapting the scientific goals to educational purposes with the time and school curriculum constraints (Kelemen-Finan et al., 2018). The success of scientific and educational goals might be difficult and requires careful design of tasks and support for teachers to promote a competent participation of students in demanding activities (Harlin et al., 2018). Kloetzer et al. (2021) highlight that the factors of success are institutional and technical support for teachers and ready-to-use school material and lesson plans connected to school curricula. Other authors also point out that teachers' training is also needed to overcome their lack of confidence in their knowledge or

skills, particularly for teachers with a lack of scientific background such as most primary school teachers (Zoellick et al., 2012).

### Research questions

In this context of challenges and open questions regarding the citizen science projects connected to formal education, this paper aims to answer the following research questions:

- (1) Which are the main characteristics of citizen science initiatives implemented in formal education contexts reported in the literature? (RQ1)
- (2) Which different profiles can be identified in the citizen science initiatives in formal education contexts reported in the literature from a scientific and educational perspective? (RQ2)

### Methods

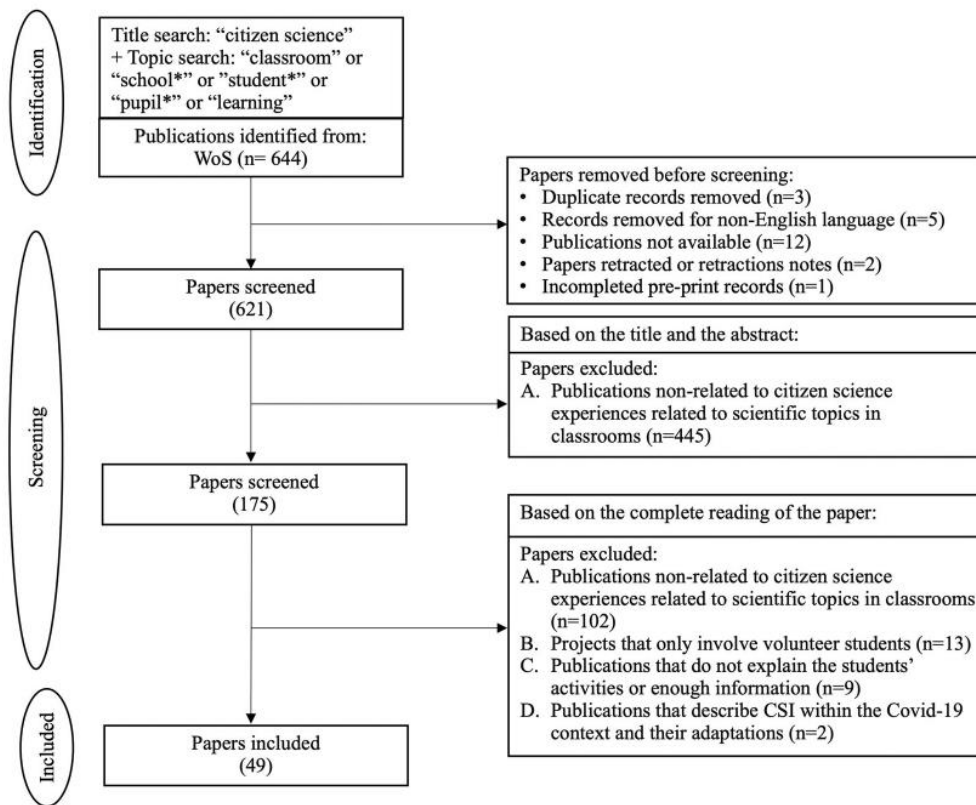
For addressing the research questions, a systematic review of the international literature is carried out under the PRISMA Protocol (Page et al., 2021) as data selection strategy.

#### *Search strategy and inclusion and exclusion criteria*

The literature review was conducted by searching relevant peer-reviewed papers published in English from 2000 to 2021 on the Web of Science database. We have used Web of Science database to include relevant international published papers in the last 20 years, due to the emergence of the researched topic. The keywords used for the identification of relevant papers were a combination between ‘citizen science’ in the title and ‘classroom’ or ‘school\*’ or ‘student\*’ or ‘pupil\*’ or ‘learning’ in the topic of the search, to include the vast number of papers related to citizen science initiatives in school contexts. Despite the fact that the term citizen science emerged in the mid-1990s (Bonney, 1996; Irwin, 1995) the oldest article that meets a combination of our search criteria is from the year 2000 and for this reason it is the first year we can search in the search engine. On the other hand, according to Lewenstein (2016), in the early years, similar initiatives were called as ‘participatory science’, ‘community science’ or ‘public participation in science’. However, we have only included the term ‘citizen science’ because we are focused on initiatives that refer to themselves as ‘citizen science’ to explore this term in use.

644 records were retrieved from the database. In that phase, we identified and removed 3 duplicates, 5 records that were not in English, 12 publications that were not available, 2 retraction notes and 1 incomplete pre-print, and we selected 621 publications for the screening phase.

In the screening phase, publications were excluded in two steps. First, based on the title and the abstract, we excluded those publications that do not include any citizen science initiative with primary or secondary school students in formal education settings, for example, those initiatives with higher education students or students in out-of-school activities (445 publications were excluded). Second, 175 publications were read completely to assess whether they satisfied the exclusion criteria. We excluded 126 publications: 102 publications do not include citizen science initiatives with primary or secondary school students for the same reasons stated above, 13 publications only include the participation of volunteer students out of classroom, 9 publications do not include enough information or only mention the scientific results without any explanation of the initiative, 2 publications only include the adaptations of the citizen science initiatives to the pandemic restrictions due to Covid-19. Finally, 49 publications were selected to meet all the exclusion and inclusion criteria, being those publications of citizen science initiatives implemented in school contexts. In Figure 1, the flow diagram of the methodological process of data selection is presented.



**Figure 1.** Flow diagram of the process of identification, screening and inclusion of publications following the PRISMA Protocol (Page et al., 2021).

To increase the transparency of the search and inclusion strategy, the database used with all the inclusion and exclusion criteria applied could be found in Solé et al. (2023b) in Zenodo open repository.

### Data analysis

From these 49 selected papers, we identified 46 different citizen science initiatives (CSI), because there are three CSIs that are explained in two different papers. To classify the CSIs, a coding system was created using the constant comparative method (Kolb, 2012), considering both categories emerging from the data and categories identified in previous research about informal education (Bell et al., 2009) and citizen science literature (Shirk et al., 2012).

After several rounds of analysis and discussion with a subsample of 10 CSIs by the 3 authors, we defined 4 dimensions of analysis in question form:

- (1) Which are the reported objectives of the CSI? In this dimension, we assess whether the CSIs include scientific and learning objectives.
- (2) In which aspects do students contribute to the CSI (in terms of the development of scientific knowledge)? In this dimension, we assess whether students contribute in choosing or defining different aspects of the scientific research, including the research question, designing data collection methodologies, collecting samples or disseminating conclusions.

- (3) In which aspects does the CSI aim to contribute to students (in terms of the development of their scientific literacy)? In this dimension, we assess whether the CSI explicitly promotes that students raise awareness about the topic, generate knowledge about scientific ideas, learn about scientific inquiry, reflect about Nature of Science (NOS) or promote STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) stance (Grimalt-Álvaro et al., 2022).
- (4) What kind of support is provided? In this dimension, we assess whether the CSIs include scientific and learning support to teachers and students.

To reduce researcher bias, an investigator triangulation of category assignment by the three authors was used (Carter et al., 2014; Cohen et al., 2018). The first author made an initial proposal of analysis with the subsample of 10 CSIs. When the three authors reached a consensus, the first author used the decided criteria to analyse all the samples.

## Results

### *Characteristics of the CSIs (RQ1)*

CSIs studied in this research cover different scientific topics from different scientific fields. Almost half of the initiatives (46%) research about environmental issues, such as climate change, microplastics contamination or water sanitation. The 28% of the initiatives research about fauna, mostly monitoring animals. Also, the 22% of the initiatives are related to public health, for example, studying the buccal microbiome or tumoral cells. The remaining 4% of the initiatives are related to physics, for example, identifying x-ray sources of globular clusters.

Regarding the age of the students, the majority of the initiatives involve the participation of secondary school students (56%) and, on the other hand, only 11% of the CSIs are aimed specifically at primary school students. The 33% of the remaining initiatives are designed for both primary and secondary school students.

Examining the dimensions defined above, in relation to which objectives the selected CSI report, the vast majority of the initiatives (84%) include both scientific and learning objectives. However, 8% of the initiatives only make explicit their scientific objectives. On the other hand, 7% of the initiatives only declare learning objectives, or, even though identifying with citizen science, the actual results of the experience do not contribute to science in any way.

Delving deeper into the students' contribution to the CSIs, in 87% of the initiatives students are engaged in the data collection research phase. However, in the 32% of those initiatives students also contribute to other phases of the research process, mostly to the dissemination of results or to data analysis. On the other hand, from the total of the CSIs, in the 24% students contribute analysing data. In most of the cases the data analysis is based on data collected by the students, but in some cases the only task in which students engaged is the analysis phase, for example, in 'Cell Spotting' project, where students had to analyse tumoral cells (Silva et al., 2016). In 13% of the initiatives students contribute to defining research questions, in 11% designing methods and in 15% disseminating the research conclusions or findings. It has to be mentioned that only one of the CSIs, about 'Air quality measurements in high schools' (Grossberndt et al., 2021), includes the contribution of the students in all research phases, as it will be discussed in the Discussion section.

On the other hand, going into detail of the educational goals of the studied CSIs, 63% of the initiatives explicitly include objectives related to raising students' awareness about the researched topic. In half of those initiatives, the only aim they pursued was to raise students' awareness. Regarding the other aims, 43% of the initiatives include objectives related to the promotion of scientific knowledge, or in 28% of the cases the promotion of participation in scientific inquiry. Other aspects such as the promotion of students' reflection of the nature of science or the STEM stance are less included, 7% in both cases.

The fourth dimension studied is the support provided to teachers and students. We have identified that 85% of CSIs include scientific support, such as data collection protocols, training for teachers to increase data quality or visits of the scientists to schools to help students to collect data or analyse samples. Also, 76% of the initiatives include learning support, such as teaching and learning sequences, training for teachers to implement them or visits of scientists to schools to engage students in the learning process.

### Profiles of CSIs (RQ2)

In the previous results' section, we have described the characteristics of CSIs. Based on those dimensions, we aimed to define four profiles of citizen science initiatives in formal education in school contexts based on the reported literature. The percentages of initiatives in each profile in our sample can be found in Table 1 and the description of each one in the following sections.

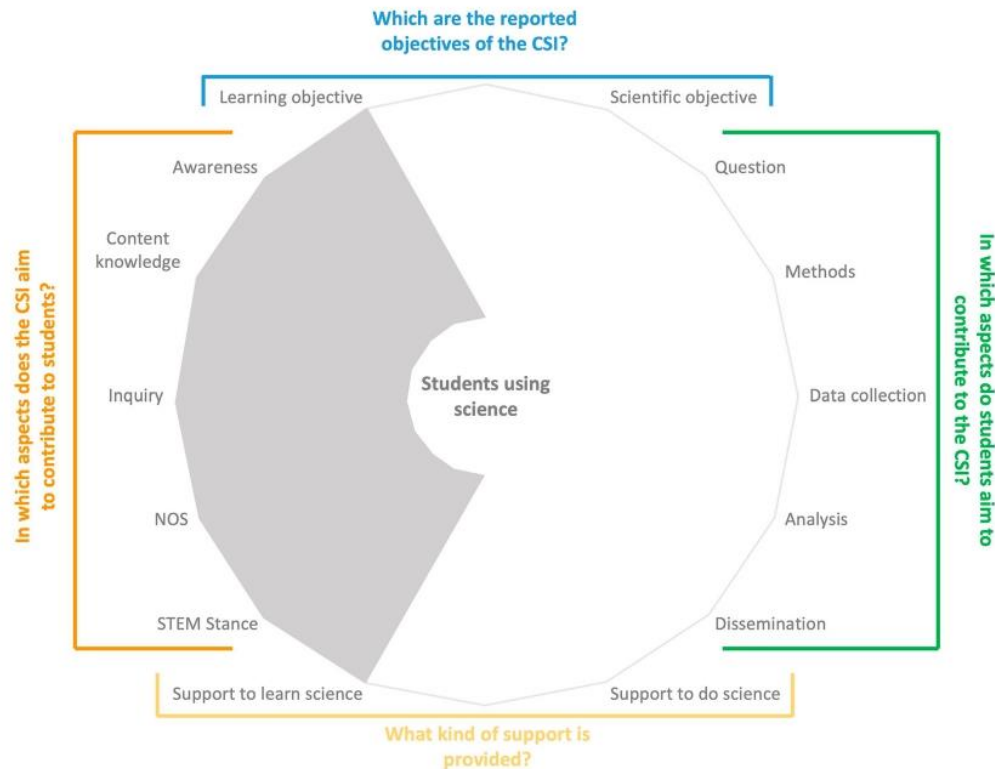
*Students using science.* These initiatives are characteristic because they do not include scientific objectives, and in consequence, students do not contribute to the development of scientific knowledge and there is no support to do science. In these cases, the CSIs are purely school-based, where the main objective is that students learn science by being involved in some scientific activities. Therefore, the support offered to learn science is crucial, and usually it consists of the connection between teachers and students with scientists. 7% of the CSIs analysed are included in this typology and showed different learning objectives: to improve the STEM stance, to promote inquiry, to raise students' awareness or to develop scientific knowledge. In Figure 2, the four analysed dimensions are presented with the categories defined. On the left side of the figure, the dimensions and categories related to the educational goals are represented and, on the right side, the dimensions and categories related to the scientific goals. In grey colour the area where the *Students using science* profile is found is represented.

One paradigmatic example of *Students using science* profile is 'School Tech-Day Event' initiative published by Kocman et al. (2020). In this initiative, primary students (aged 7–8), with the collaboration of scientists, have to design and implement a research about sound and noises of their surroundings with the explicit aim to 'raise awareness and empower them on the importance of sounds and hearing in everyday life' (p. 3). In this initiative, the collected data was analysed by the students and presented to each other in a school symposium. To help students to think about the research question and pose hypotheses, scientists with a background in environmental sciences made a lecture through a PowerPoint presentation. In that initiative, no scientific objective was pursued, and the results obtained by the students do not contribute to the development of new scientific knowledge. However, the fact that students were involved in designing and conducting research has a clear learning objective.

*Students helping science.* These types of initiatives explicitly include scientific and learning objectives. Despite having learning objectives, those are only related to raising students' awareness and no other objectives related to content knowledge, inquiry, NOS or STEM stance are explicitly pursued. However, these initiatives usually present educational support to achieve their aim. On the other hand, in these CSIs students only contribute in one aspect of the scientific research, and it is mostly in the data collection phase. To do it, almost all the CSIs include support to do science in different ways, such as scientists guidance or data collection protocols. 28% of the CSIs analysed

**Table 1.** Profiles of CSIs defined and the percentages of initiatives included in each of them. The remaining 8% of initiatives are not included in any profiles as they do not have any declared educational objectives.

| Profiles of CSIs defined                          | Percentages of CSIs (n = 46) |
|---|------------------------------|
| Students using science                            | 7%                           |
| Students helping science                          | 28%                          |
| Students learning science by collecting data      | 37%                          |
| Students learning science by acting as scientists | 20%                          |

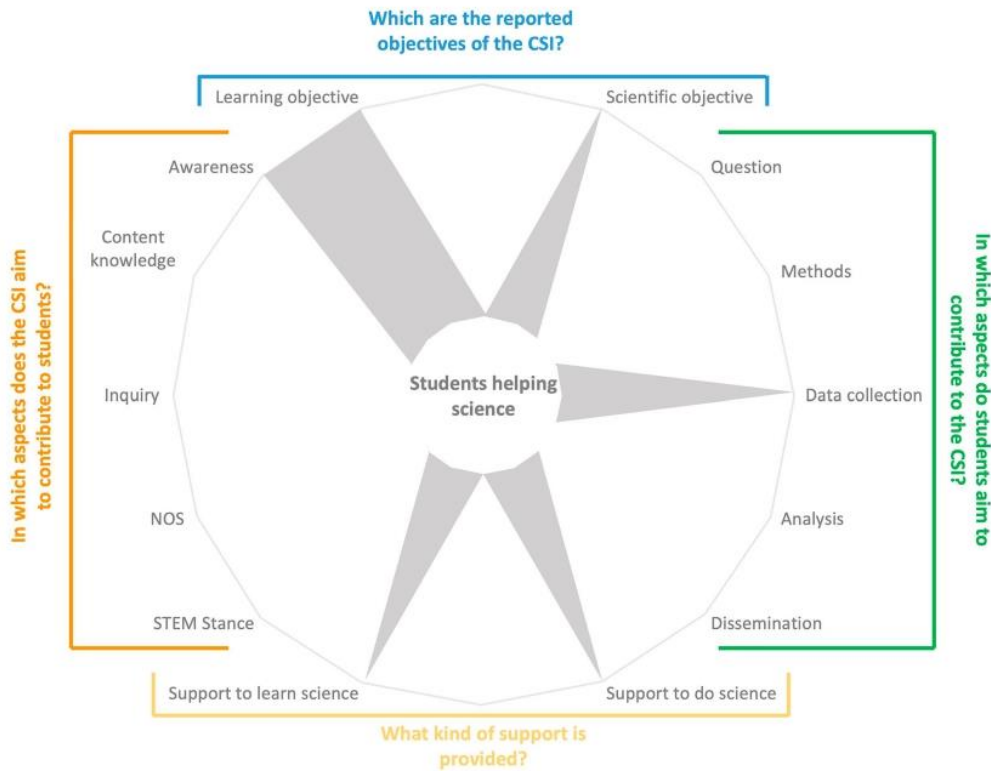


**Figure 2.** Profile of citizen science initiatives characterised as *Students using science* ( $n = 3$ ). On the left side of the figure, the dimensions and categories related to the learning objectives. On the right side, the dimensions and categories related to the scientific objectives. The area in grey colour represents those categories and dimensions characterising this profile.

are included in this typology. Figure 3, following the same scheme that Figure 2, presents the area where *Students helping science* profile of initiatives could be found.

One example of *Students helping science* profile is 'Helsinki Urban Rat Project (HURP)' published by Aivelo and Huovelin (2020). In this initiative, the scientific objective is 'to understand how rat populations vary spatiotemporally in the urban landscape, how parasites and pathogens are spread and how humans perceive sharing the same habitat with invasive rats' (p. 5). On the other hand, the learning objective is related to improving students' attitudes towards rats. In this initiative, students have to collect data on the presence-absence of brown rats and share with scientists through mobile application. To support teachers and students to be involved in the initiative, a 'scientist visited the classroom, gave a lecture on urban ecology and brown rats, and explained how to participate in the research project' (p. 5). Despite the fact that in the 'HURP', the main learning objective is to raise students' awareness, the authors care about fulfilling curricular demands in secondary school, and for that reason 'teachers were free to organise the participation in the research how it best fit their teaching' (p. 5).

*Students learning science by collecting data.* This profile includes initiatives that explicitly declare learning and scientific objectives. Regarding the learning objectives, the difference from the previous one is that in this case the CSIs aim to contribute to students not only raising awareness about a scientific topic but also to developing scientific content knowledge, learning about scientific inquiry, reflecting on the nature of science or promoting their STEM stance. As the learning objective is more challenging, support for learning science is included in all the CSIs. Regarding the

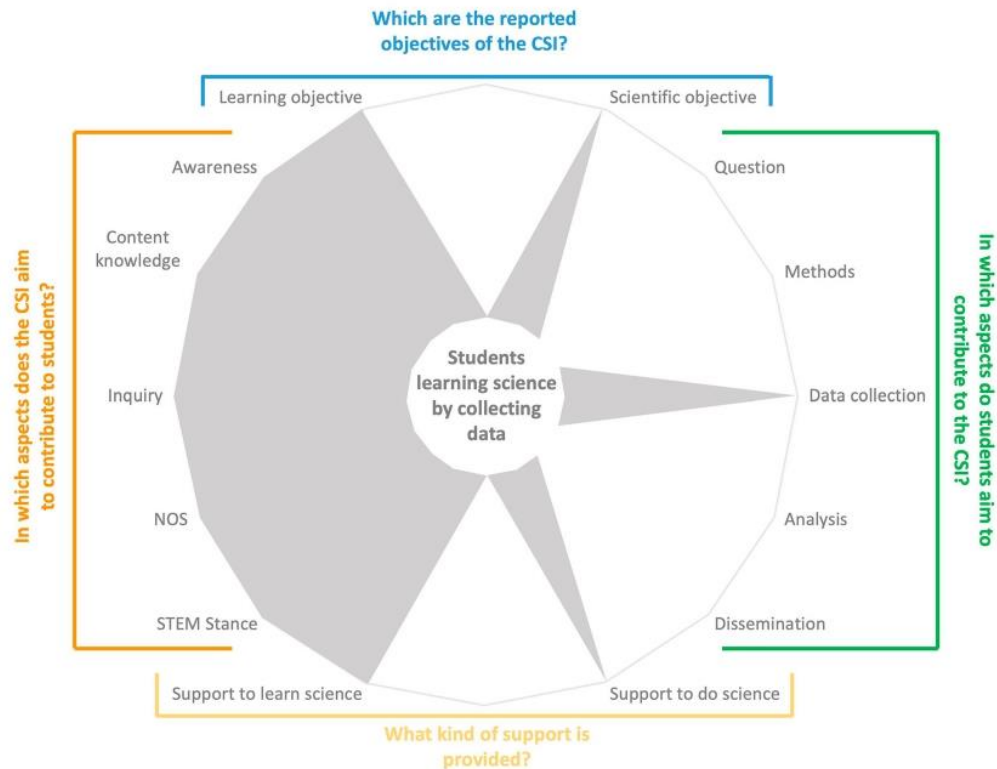


**Figure 3.** Profile of citizen science initiatives characterised as *Students helping science* ( $n = 13$ ). On the left side of the figure, the dimensions and categories related to the learning objectives. On the right side, the dimensions and categories related to the scientific objectives. The area in grey colour represents those categories and dimensions characterising this profile.

scientific objectives, in this typology of CSIs students only contribute to science in the data collection phase. However, all initiatives also include scientific support. 37% of the analysed CSIs are included in this profile. Figure 4, following the same scheme that previous figures, presents the area where *Students learning science by collecting data* profile of initiatives could be found.

One example of the initiatives in this profile is ‘Lessons on Lyme Disease’ project published by Seifert et al. (2016). Its scientific objective is to understand the distribution of the pathogen that causes Lyme Disease. Its declared learning objective is ‘to promote Lyme disease prevention and to cultivate interest in science’ (p. 66) and, for that reason, there is a lesson plan ‘designed to increase students’ interest in pursuing science careers’ (p. 63). To achieve this aim, students had to collect ticks that may carry the bacteria that cause Lyme disease and send to scientists a tick data sheet, so students contribute in the data collection research phase. In terms of the support provided, scientists gave an ‘interactive presentation’ (p. 64) to students and joined them in 1 hour fieldwork where some data collection protocols are used. Also, students had the opportunity to tour the lab facilities. In this paper, the authors mention that citizen science is useful for them because it allows them to have an extensive sample collection of ticks (‘a total of 170 ticks from approximately 40 different locations’ (p. 66)).

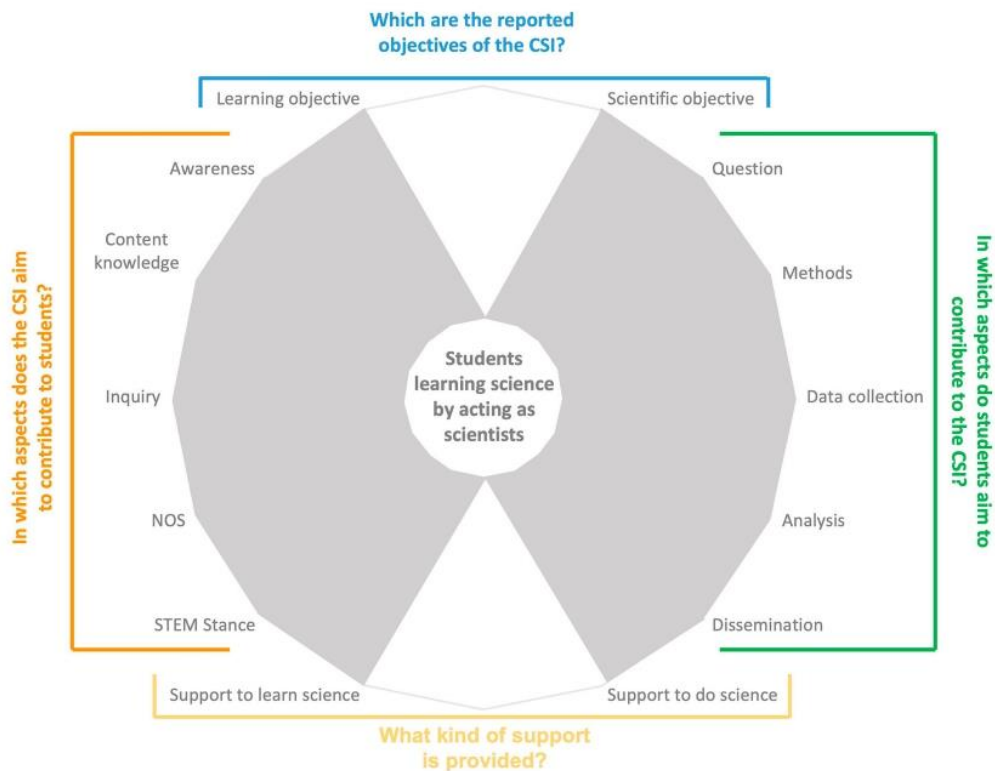
*Students learning science by acting as scientists.* This profile includes initiatives that explicitly declare learning and scientific objectives. Regarding the learning objectives, this profile is the same as the previous one, because the CSIs aim to contribute to students in more than one aspect, and they include educational support. Regarding the scientific objectives, these profiles differ from



**Figure 4.** Profile of citizen science initiatives characterised as *Students learning science by collecting data* ( $n = 17$ ). On the left side of the figure, the dimensions and categories related to the learning objectives. On the right side, the dimensions and categories related to the scientific objectives. The area in grey colour represents those categories and dimensions characterising this profile.

the previous one, because in this case students contribute in more than one aspect of the scientific research, usually in the data collection phase but also in the data analysis and the dissemination of results. In a minor number of initiatives, students contribute to all phases of the research process. 20% of the CSIs analysed are included in this profile.

One example of this type of initiatives is 'Perceiving the value of chemistry behind water and microplastics project' (PVC Project) published by Araújo et al. (2021, 2022). The scientific objective of the initiative is to analyse and monitor the physicochemical parameters and detect the presence of microplastics in coastal waters in a region. In this context, multiple learning objectives are presented: 'it aimed to raise awareness about marine litter, especially the presence of microplastics in coastal water and its consequences' (p. 104), also 'to highlight the importance of Chemistry and its preventive role in combating these environmental scourges' (p. 104), and related to knowledge and skills the goal is 'to promote the learning of chemistry content related to water quality parameters, as well as develop laboratory skills' (p. 104). To achieve the scientific aims, students collected plastics and water samples at beaches, identified them qualitatively (in the case of plastics, applying solubility and density tests to determine the type of polymer; and in the case of water, applying physicochemical analysis), and shared the results with both scientific and school communities. Through all this process students also participated in online tasks and lectures conducted by scientists, and they were provided with a low-cost pedagogical kit for monitoring, practical activities and also support manuals to collect data (Figure 5).



**Figure 5.** Profile of citizen science initiatives characterised as *Students learning science by acting as scientists* ( $n = 9$ ). On the left side of the figure, the dimensions and categories related to the learning objectives. On the right side, the dimensions and categories related to the scientific objectives. The area in grey colour represents those categories and dimensions characterising this profile.

### Discussion of results: understanding how CSIs are implemented in school contexts

#### *There is a polysemic, sometimes abusive use of the term citizen science in school contexts*

Analysing CSIs in formal education contexts from a framework that makes explicit both the scientific and educational objectives and gives equal value to both shows that there are ontologically different types of initiatives under the same denomination. We have identified four different types of initiatives, ranging from those that only abusively can be considered of citizen science (because they do not contribute to the development of new scientific knowledge) to those that deploy particularly balanced ways of contributing both to science and students' learning.

The initiatives within the *Students using science* profile, despite not complying with the CSI principle of contributing to science (ECSA, 2015), can be valuable: they try to involve students in genuine scientific practices in connection with real professional scientists. For example, in the case of 'MUSICS' initiative (Archer et al., 2018), authors mention that 'the main objective of this initiative is to raise students' aspirations towards physics (or STEM), with potential benefits towards the research being of secondary concern' (p. 1756). Or in the case of 'Invasive Aliens' project published by Eble and Pecore (2019), students are guided through five-lab units in each step of the DNA barcoding process of fishes, without students publishing or sharing their results with the scientific community. As such, *Students using science* initiatives have the potential to provide students with a more realistic experience of the scientific process and connect with realistic scientific role models.

However, they are more aligned with the open schooling paradigm (European Commission, 2015), hands-on experiences or outreach activities than with citizen science.

In a similar fashion, there are also a minority of initiatives that contribute to science without having any educational focus (8%). They happen in schools, but could have been done anywhere else. Despite the fact that some authors sustain that all citizen science processes imply the learning of participants (Roche et al., 2020), it is against common experience and evidence from the body of research in Science Education that curricular scientific learning is achieved just by mere participation. In addition, the identified profile of *Students learning science by acting as scientists* demonstrates that both educational and scientific objectives can be pursued satisfactorily within the same initiative. For instance, in the case of the 'ATENCIÓ' initiative, the existing publications support the idea that a school-based citizen science project that has both scientific and educational aims and a rich educational support to both students and teachers can contribute to both quality science (Gignac et al., 2021) and quality learning (Solé et al., 2023a).

### ***CSI are quite homogeneous and limited regarding their scientific objectives***

From the scientific perspective, CSIs show certain homogeneity: most of the analysed initiatives belong to profiles in which students' contribution to science is limited to data collection. This is problematic because, as it is discussed in the background section, citizen science initiatives are usually classified in terms of the degree of citizens' engagement, signalling the importance of engaging citizens in as many stages in the scientific enterprise as possible. In formal education in school contexts, however, students mostly contribute to the data collection phase, for example collecting data about pollinator insects (Prendergast et al., 2022; Saunders et al., 2018), raining levels (Paul et al., 2020) or water quality (Babich et al., 2021; Queiruga-Dios et al., 2020).

There are practical reasons that researchers explicitly report about directing students' participation to the data collection stage. Examples are the necessity to increase the number of experiments or its coverage, such as 'PowerStreams' published by Weigelhofer et al. (2019) that mention 'we decided to involve high school students in these experiments because of the large number of experiments needed for a reliable estimation of adsorption capacities' (p. 2), or 'First small plastic debris sampling on Chilean beaches' published by Hidalgo-Ruz and Thiel (2013) that mention that 'when extensive collection of data is required to achieve an appropriate geographic coverage and funding is limited, a useful approach is for scientists and the public to work together in an alliance called "citizen science"' (p. 13). From our viewpoint, however, there are potential limitations to this practice: if scientists only share with citizens and students the more repetitive, less creative part of the scientific endeavour, it is very difficult that the higher levels of citizens' engagement with science can be achieved (Garrison et al., 2021). Taking into account that a maximum level of engagement between students' and researchers (empowering level) entails 'providing advice and assistance (to students) as requested in line with your decisions for designing and conducting your research, as well as for implementing your findings' (Garrison et al., 2021, p. 2), most CSI in schools fail to overcome medium levels of partial students' involvement.

### ***CSI initiatives are more diverse but also limited regarding their learning objectives***

Despite the diversity of potential learning objectives of CSI in schools (awareness, content knowledge, inquiry, NOS or STEM stance), results show that a third part of the initiatives that aim at learning objectives are related to raising students' awareness about the research topic. Even though raising students' awareness about issues such as climate change (e.g. 'EDUMAR' published by Boaventura et al. 2021), lack of biodiversity (e.g. 'Marine Metre Squared' published by Carson et al. 2021), air pollution (e.g. the 'Air quality measurements in high school' project published by Grossberndt et al. 2021) or water pollution (e.g. the 'First small plastic debris sampling' published by Hidalgo-Ruz and Thiel 2013) are extremely important, citizen science initiatives could offer

good opportunities to work in depth other aspects such as the scientific content knowledge, inquiry skills, nature of science or STEM stance.

The previous finding regarding the excessive focus of CSI to the scientific practice of collecting data has also implications regarding the learning objectives that CSI in formal education contexts can have. Clearly, the learning objectives pursued in initiatives where students only collect data in the systematic way researches demand (e.g., about mosquitoes such as in ‘Great Arizona Mosquito Hunt’, Tarter et al., 2019), are necessarily different from the potential learning objectives pursued in initiatives where students design the research question, the methods and collect data accordingly (such as in the ‘Urban bird feeding experiment’, Soanes et al., 2020). As a consequence, it is not surprising that many projects focused only on collecting data such as those projects of *Students helping science* have a very limited educational aim: that of increasing students’ awareness.

However, our findings indicate that probably due to certain independence between educational and scientific goals, other projects focused on collecting data have actually a much more diverse educational potential impact. CSIs categorised in the profile *Students learning science by collecting data* usually aim to raise more than students’ awareness: developing students’ scientific content knowledge (e.g. ‘Nature in your backyard’ initiative reported by Kelemen-Finan et al. 2018 and Scheuch et al. 2018), inquiry skills (e.g. ‘EDU-ARCTIC’ initiative published by Goździk et al. 2019) or reflection on the nature of science (e.g. ‘Tiny North Coast Places Project’ published by Young et al. 2021). The achievement of this diversity of educational goals will depend on what activities are designed and which support to teachers and students is provided. Thus, despite being involved in the same research phase, the learning potential of *Students helping science* profile and *Students learning science by collecting data* profile are really different. In school contexts, describing CSIs through students’ engagement is not enough to fully capture the learning dimension.

Finally, regarding the crucial learning objective of influencing the affective dimension of students (STEM stance), it is significant the lack of initiatives that declare this goal (7%). This is particularly surprising taking into account that in international evaluations of scientific competence (such as in the new PISA framework), this dimension is gaining substantial recognition (OECD, 2023).

### Limitations and future implications

Citizen science initiatives in formal education contexts involve multiple agents such as scientists, teachers, students or families. To capture what happened in one of those initiatives is a non-easy task. In this research, we present our results based on a systematic review of literature where authors report the development of their initiatives. The ephemeral intrinsic characteristic of those initiatives, and what authors value as most important to explain, represent a limitation of the presented research. Nevertheless, we consider that this review offers insights that can help us and others to focus our design and research efforts in citizen science initiatives in formal education contexts.

As designers of citizen science initiatives in formal education contexts, we are worried by the limitations identified. As a consequence, we have to require ourselves the same degree of professionalism to achieve both scientific and learning objectives. We are aware that most of the initiatives emerge from scientific institutions, in some cases engaging the outreach department. However, when developed in a formal education context the learning objectives should be on par with scientific objectives. To achieve this balance is not an easy task, but the collaboration between scientists, science education researchers and science educators could offer new perspectives to accomplish it. On the other hand, more attention should be focused on initiatives with primary students (from 6 to 12 years old) to involve young students in real scientific activities.

As researchers, we are aware that in the previous categorisation of profiles of CSI in school contexts we have not taken into account most measures of quality within each of the analysed dimensions. For example, two projects within the *Students learning science by acting as scientists* do not

necessarily have the same quality in terms of the sort of support given or the depth of knowledge learnt. As such, we have to require ourselves enriched descriptions and more evaluation of the initiatives, as other authors point out (Phillips et al., 2018). To know the impact of these initiatives, it would be convenient to report not only the scientific significance but also to evaluate the students' learning outcomes in depth. This requires support to teachers and students (Harlin et al., 2018) and more research is needed to share not only evaluation methods and results but also best supporting practices.

### Acknowledgements

This research was conducted in the PhD Education program at the Universitat Autònoma de Barcelona and funded by the Ministerio de Ciencia e Innovación under PGC2018-096581-B-C21 and PID2022-138166NB-C22b projects and carried out in the SGR ACELEC research group (2021 SGR 00647). C. S. was supported by a predoctoral contract funded by the Spanish Government (PRE2019-087419).

### Disclosure statement


No potential conflict of interest was reported by the author(s).

### Funding

This work was supported by Ministerio de Ciencia e Innovación: [Grant Number PGC2018-096581-B-C21, PID2022-138166NB-C22b, PRE2019-087419]; Grup de recerca ACELEC: [Grant Number 2021 SGR 00647].

### ORCID

Caterina Solé  <http://orcid.org/0000-0002-1542-1487>

Digna Couso  <http://orcid.org/0000-0003-4253-5049>

María Isabel Hernández  <http://orcid.org/0000-0002-5689-9698>

### References

- Aivelo, T., & Huovelin, S. (2020). Combining formal education and citizen science: A case study on students' perceptions of learning and interest in an urban rat project. *Environmental Education Research*, 26(3), 324–340. <https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1727860>
- Araújo, J. L., Morais, C., & Paiva, J. C. (2021). Students' attitudes towards science: The contribution of a citizen science project for monitoring coastal water quality and (micro)plastics. *Journal of Baltic Science Education*, 20(6), 881–893. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.881>
- Araújo, J. L., Morais, C., & Paiva, J. C. (2022). Student participation in a coastal water quality citizen science project and its contribution to the conceptual and procedural learning of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 23(1), 100–112. <https://doi.org/10.1039/D1RP00190F>
- Archer, M. O., Hartinger, M. D., Redmon, R., Angelopoulos, V., & Walsh, B. M. (2018). First results from sonification and exploratory citizen science of magnetospheric ULF waves: Long-lasting decreasing-frequency poloidal field line resonances following geomagnetic storms. *Space Weather*, 16(11), 1753–1769. <https://doi.org/10.1029/2018SW001988>
- Babich, R., Craig, E., Muscat, A., Disney, J., Farrell, A., Silka, L., & Jayasundara, N. (2021). Defining drinking water metal contaminant mixture risk by coupling zebrafish behavioral analysis with citizen science. *Scientific Reports*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96244-4>
- Bell, P., Lewenstein, B., Shouse, A. W., & Feder, M. (2009). *Learning science in informal environments. People, places and pursuits National Research Council of the national academies, committee on learning science in informal environments*. National Academic Press.
- Boaventura, D., Neves, A. T., Santos, J., Pereira, P. C., Luís, C., Monteiro, A., Cartaxana, A., Hawkins, S. J., Caldeira, M. F., & Ponces de Carvalho, A. (2021). Promoting ocean literacy in elementary school students through investigation activities and citizen science. *Frontiers in Marine Science*, 8(September), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.675278>
- Bonney, R. (1996). Citizen science: A lab tradition. *Living Birds*, 15(4), 7–15.

- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J. L., & Wilderman, C. C. (2009). *Public participation in scientific research: Defining the field and assessing its potential for informal science education*. A CAISE Inquiry Group Report (Issue July). Center for Advancement of Informal Science Education (CAISE).
- Carson, S., Rock, J., & Smith, J. (2021). Sediments and seashores – A case study of local citizen science contributing to student learning and environmental citizenship. *Frontiers in Education*, 6(June), 1–18. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.674883>
- Carter, N., Bryant-Lukosius, D., Dicenso, A., Blythe, J., & Neville, A. J. (2014). The use of triangulation in qualitative research. *Oncology Nursing Forum*, 41(5), 545–547. <https://doi.org/10.1188/14.ONF.545-547>
- Cohen, L., Lawrence, M., & Morrison, K. (2018). *Research methods in education*. Routledge.
- Eble, J., & Pecore, J. (2019). “Invasive aliens”: A student citizen-science activity using DNA barcoding to investigate concepts in ecology & molecular biology. *The American Biology Teacher*, 81(3), 169–174. <https://doi.org/10.1525/abt.2019.81.3.169>
- ECSA (European Citizen Science Association). (2015). *Ten principles of citizen science*. <http://doi.org/10.17605/OSF.IO/XPR2N>
- European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. (2015). Science education for responsible citizenship – Report to the European Commission of the expert group on science education. Publications Office.
- Galloway, A. W. E., Tudor, M. T., & Vander Haegen, W. M. (2006). The reliability of citizen science: A case study of Oregon white oak stand surveys. *Wildlife Society Bulletin*, 34(5), 1425–1429. <https://doi.org/10.2193/0091>
- Garrison, H., Agostinho, M., Alvarez, L., Bekaert, S., Bengtsson, L., Broglio, E., Couso, D., Araújo Gomes, R., Ingram, Z., Martínez, E., Mena, A. L., Nickel, D., Norman, M., Pinheiro, L., Solís-Mateos, M., & Bertero, M. G. (2021). Involving society in science. *EMBO Reports*, 22(11), 1–7. <https://doi.org/10.15252/embr.202154000>
- Gignac, F., Solé, C., Barrera-gómez, J., Persavento, C., Tena, È, López-Vicente, M., Júlvez, J., Sunyer, J., Couso, D., & Basagaña, X. (2021). Identifying factors influencing attention in adolescents with a co-created questionnaire: A citizen science approach with secondary students in Barcelona, Spain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(15), 8221. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158221>
- Golumbic, Y. N., Fishbain, B., & Baram-Tsabari, A. (2020). Science literacy in action: Understanding scientific data presented in a citizen science platform by non-expert adults. *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 10(3), 232–247. <https://doi.org/10.1080/21548455.2020.1769877>
- Goździk, A., Aspholm, P. E., Wam, H. K., Wawrzyniak, T., & Wielgopolan, A. (2019). Citizen science initiative for schools: Edu-Arctic monitoring of meteorological and phenological parameters. *EDULEARN19 Proceedings*, 1 (July), 776–785. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.0253>
- Grimalt-Álvaro, C., Couso, D., Boixadera-Planas, E., & Godec, S. (2022). “I see myself as a STEM person”: Exploring high school students’ self-identification with STEM. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(5), 720–745. <https://doi.org/10.1002/tea.21742>
- Grossberndt, S., Passani, A., Di Lisis, G., Janssen, A., & Castell, N. (2021). Transformative potential and learning outcomes of air quality citizen science projects in high schools using low-cost sensors. *Atmosphere*, 12(6), 736. <https://doi.org/10.3390/atmos12060736>
- Haklay, M., Dörler, D., Heigl, F., Manzoni, M., Hecker, S., & Vohland, K. (2021). What Is citizen science? The challenges of definition. In K. Vohland, A. Land-Zandsra, L. Ceccaroni, R. Lemmens, J. Perelló, M. Ponti, R. Samson, & K. Wagenknecht (Eds.), *The science of citizen science* (pp. 13–33). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4_2)
- Harlin, J., Kloetzer, L., Patton, D., & Leonhard, C. (2018). Turning students into scientists. In S. Hecker, M. Haklay, A. Bowser, Z. Makuch, J. Vogel, & A. Bonn (Eds.), *Citizen science: Innovation in open science, society and policy* (pp. 410–428). UCL Press. <https://doi.org/10.1021/cen-v033n048.p5162>
- Hecker, S., Hakly, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (2018). Citizen science: Innovation in open science, society and policy. *Journal of Chemical Information and Modeling UCL Press*, 53(9), 1–30. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hidalgo-Ruz, V., & Thiel, M. (2013). Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. *Marine Environmental Research*, 87–88, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.015>
- Irwin, A. (1995). *Citizen science: A study of people, expertise and sustainable development*. Routledge.
- Kelemen-Finan, J., Scheuch, M., & Winter, S. (2018). Contributions from citizen science to science education: An examination of a biodiversity citizen science project with schools in Central Europe. *International Journal of Science Education*, 40(17), 2078–2098. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1520405>
- Kloetzer, L., Lorke, J., Roche, J., Golumbic, Y., Winter, S., & Jögeva, A. (2021). Learning in citizen science. In K. Vohland, A. Land-Zandsra, L. Ceccaroni, R. Lemmens, J. Perelló, M. Ponti, R. Samson, & K. Wagenknecht (Eds.), *The science of citizen science* (pp. 283–308). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4_15)
- Kocman, D., Števanec, T., Novak, R., & Kranjec, N. (2020). Citizen science as part of the primary school curriculum: A case study of a technical day on the topic of noise and health. *Sustainability (Switzerland)*, 12(23), 10213. <https://doi.org/10.3390/su122310213>

- Kolb, S. M. (2012). Grounded theory and the constant comparative method : Valid research strategies for educators. *Journal of Emerging Trends in Educational Research and Policy Studies*, 3(1), 83–86.
- Lewenstein, B. V. (2016). Can we understand citizen science? *Journal of Science Communication*, 15(1), E. <https://doi.org/10.22323/2.15010501>
- OECD. (2023). *PISA 2025 scientific framework (second draft)*. Oxford University Press.
- 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. *The BMJ*, 372, 71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Paul, J. D., Cieslik, K., Sah, N., Shakya, P., Parajuli, B. P., Paudel, S., Dewulf, A., & Buytaert, W. (2020). Applying citizen science for sustainable development: Rainfall monitoring in western Nepal. *Frontiers in Water*, 2 (December), 1–12. <https://doi.org/10.3389/frwa.2020.581375>
- Phillips, T., Porticella, N., Constan, M., & Bonney, R. (2018). A framework for articulating and measuring individual learning outcomes from participation in citizen science. *Citizen Science: Theory and Practice*, 3(2), 3. <https://doi.org/10.5334/cstp.126>
- Prendergast, K., Vanderstock, A., Neilly, H., Ross, C., Pirotta, V., & Tegart, P. (2022). Potential and pitfalls of citizen science with children: Reflections on pollinators in the playground project. *Austral Ecology*, 47(2), 189–195. <https://doi.org/10.1111/aec.13031>
- Queiruga-Dios, MÁ, López-Iñesta, E., Díez-Ojeda, M., Sáiz-Manzanares, M. C., & Dorrio, J. B. V. (2020). Citizen science for scientific literacy and the attainment of sustainable development goals in formal education. *Sustainability (Switzerland)*, 12(10), 4283. <https://doi.org/10.3390/su12104283>
- Roche, J., Bell, L., Galvão, C., Golumbic, Y. N., Kloetzer, L., Knoblen, N., Laakso, M., Lorke, J., Mannion, G., Massetti, L., Mauchline, A., Pata, K., Ruck, A., Taraba, P., & Winter, S. (2020). Citizen science, education, and learning: Challenges and opportunities. *Frontiers in Sociology*, 5(December), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fsoc.2020.613814>
- Saunders, M. E., Roger, E., Geary, W. L., Meredith, F., Welbourne, D. J., Bako, A., Canavan, E., Herro, F., Herron, C., Hung, O., Kunstler, M., Lin, J., Ludlow, N., Paton, M., Salt, S., Simpson, T., Wang, A., Zimmerman, N., Drews, K. B., ... Moles, A. T. (2018). Citizen science in schools: Engaging students in research on urban habitat for pollinators. *Austral Ecology*, 43(6), 635–642. <https://doi.org/10.1111/aec.12608>
- Scheuch, M., Panhuber, T., Winter, S., Kelemen-Finan, J., Bardy-Durchhalter, M., & Kapelari, S. (2018). Butterflies & wild bees: Biology teachers' PCK development through citizen science. *Journal of Biological Education*, 52(1), 79–88. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1405530>
- Seifert, V. A., Wilson, S., Toivonen, S., Clarke, B., & Prunuske, A. (2016). Community partnership designed to promote Lyme disease prevention and engagement in citizen science. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 17 (1), 63–69. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v17i1.1014>
- Serrano, F., Holocher-Ertl, T., Kieslinger, B., Sanz García, F., & Silva, C.. (2014). White paper on citizen science for Europe. Societize Consortium. <https://ec.europa.eu/futurium/en/content/white-paper-citizen-science.html>
- Shirk, J. L., Ballard, H. L., Wilderman, C. C., & Phillips, T. (2012). Public participation in scientific research : A framework for deliberate design. *Ecology and Society*, 17(2), <https://doi.org/10.5751/ES-04705-170229>
- Silva, C. G., Monteiro, A., Manahl, C., Lostal, E., Holocher-Ertl, T., Andrade, N., Brasileiro, F., Mota, P. G., Sanz, F. S., Carrodeguas, J. A., & Brito, R. M. M. (2016). Cell spotting: Educational and motivational outcomes of cell biology citizen science project in the classroom. *Journal of Science Communication*, 15(1), A02–A20. <https://doi.org/10.22323/2.15010202>
- Soanes, K., Cranney, K., Dade, M. C., Edwards, A. M., Palavalli-Nettimi, R., & Doherty, T. S. (2020). How to work with children and animals: A guide for school-based citizen science in wildlife research. *Austral Ecology*, 45(1), 3–14. <https://doi.org/10.1111/aec.12836>
- Solé, C., Couso, D., & Hernández, M. I. (2023a). Selection process of articles for a systematic literature review on citizen science initiatives in school contexts (First version) [Data set]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8094037>
- Solé, C., Couso, D., & Hernández, M. I. (2023b). Revisiting secondary students' ideas about air pollution. The challenge of particulate matter. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(1), 132–142. <https://doi.org/10.1039/d2rp00117a>
- Stylinski, C. D., Peterman, K., Phillips, T., Linhart, J., & Becker-Klein, R. (2020). Assessing science inquiry skills of citizen science volunteers: A snapshot of the field. *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 10(1), 77–92. <https://doi.org/10.1080/21548455.2020.1719288>
- Tarter, K. D., Levy, C. E., Yaglom, H. D., Adams, L. E., Plante, L., Casal, M. G., Gouge, D. H., Rathman, R., Stokka, D., Weiss, J., Venkat, H., & Walker, K. R. (2019). Using citizen science to enhance surveillance of *Aedes aegyptii* in Arizona, 2015–17. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 35(1), 11–18. <https://doi.org/10.2987/18-6789.1>

- Vohland, K., Land-Zandsra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., Samson, R., & Wagenknecht, K. (2021). Editorial: The science of citizen science evolves. In K. Vohland, A. Land-Zandsra, L. Ceccaroni, R. Lemmens, J. Perelló, M. Ponti, R. Samson, & K. Wagenknecht (Eds.), *The science of citizen science* (pp. 1–12). Springer.
- Webber, Z. R., Webber, K. G. I., Rock, T., St. Clair, I., Thompson, C., Groenwald, S., Aanderud, Z., Carling, G. T., Frei, R. J., & Abbott, B. W. (2021). Diné citizen science: Phytoremediation of uranium and arsenic in the Navajo Nation. *Science of the Total Environment*, 794, 148665. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148665>
- Weigelhofer, G., Pölz, E. M., & Hein, T. (2019). Citizen science: How high school students can provide scientifically sound data in biogeochemical experiments. *Freshwater Science*, 38(2), 236–243. <https://doi.org/10.1086/698765>
- Young, A. M., van Mantgem, E. F., Garretson, A., Noel, C., & Morelli, T. L. (2021). Translational science education through citizen science. *Frontiers in Environmental Science*, 9(December), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.800433>
- Zoellick, B., Nelson, S. J., & Schauffler, M. (2012). Participatory science and education: Bringing both views into focus. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 310–313. <https://doi.org/10.1890/110277>

#### 4.4. Resultats: Anàlisi de la qualitat de les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar

Per tal de respondre a la pregunta de recerca P1.3. a continuació es presenta l'article “¿Qué ciencia ciudadana se está haciendo en contexto escolar? Una herramienta para su evaluación” acceptat per a la seva publicació a la *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.

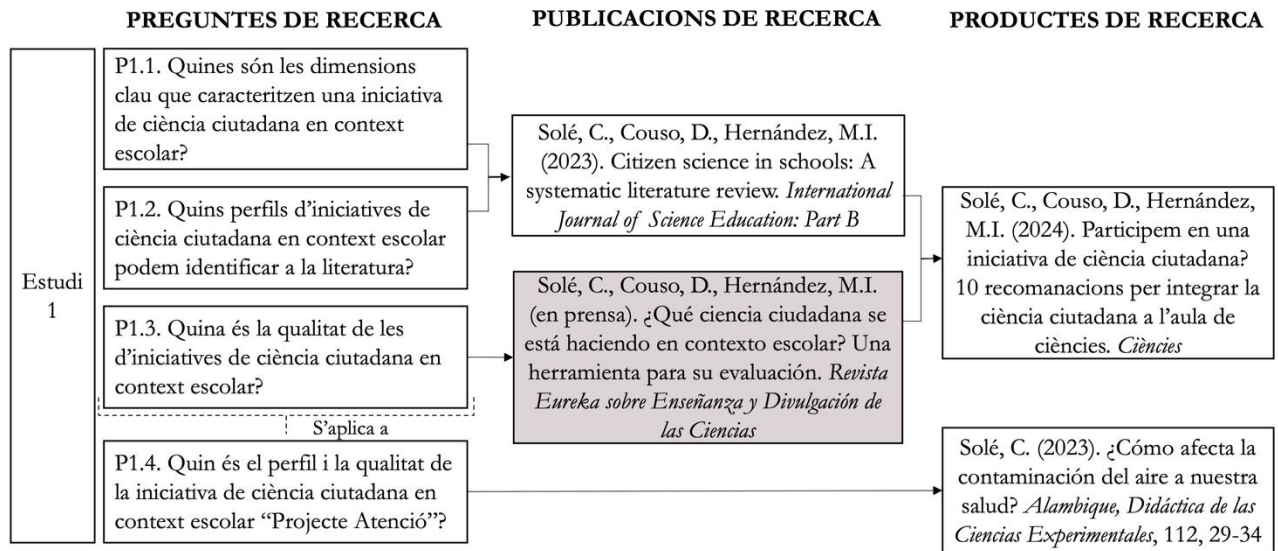


Figura 8. Esquema de l'Estudi 1 de la tesi on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i les altres publicacions que conformen aquest estudi.

#### 4.4.1. Article “¿Qué ciencia ciudadana se está haciendo en contexto escolar? Una herramienta para su evaluación”

## ¿Qué ciencia ciudadana se está haciendo en contexto escolar? Una herramienta para su evaluación

Caterina Solé 

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona. Cerdanyola del Vallès. España. [Caterina.sole@uab.cat](mailto:Caterina.sole@uab.cat)

Digna Couso 

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona. Cerdanyola del Vallès. España. [Digna.couso@uab.cat](mailto:Digna.couso@uab.cat)

María Isabel Hernández 

INS Gorgs. Departament d'Educació. Cerdanyola del Vallès. España. [mhern372@xtec.cat](mailto:mhern372@xtec.cat)

[Recepción: xx Mes xxxx, Revisado: xx Mes xxxx, Aprobación: xx Mes xxxx]

**Resumen:** Las iniciativas de ciencia ciudadana, donde la población no profesional contribuye al desarrollo de la ciencia, ha ido en aumento en los últimos años, entrando también en las aulas de escuelas e institutos. Esta colaboración no está exenta de retos, puesto que a menudo los objetivos de la ciencia profesional no están alineados con los objetivos educativos. En este artículo se investiga cuál es la calidad de las iniciativas que se han llevado a cabo en contexto escolar. Para ello se ha elaborado una herramienta que pretende caracterizar y valorar las dimensiones clave identificadas. Esta se ha aplicado a un conjunto de 46 iniciativas seleccionadas a partir de una revisión sistemática de la literatura. El análisis nos permite apuntar algunas reflexiones sobre cuál es la calidad y qué aspectos se deberían tener en cuenta para su diseño en las aulas escolares.

**Palabras clave:** ciencia ciudadana, contexto escolar, evaluación, calidad

**Article title:** What citizen science is being done in school contexts? A tool for evaluation

**Abstract:** Citizen science initiatives, where non-professional citizens contributes to the development of science, have been increasing in recent years, extending their application into school classrooms. This collaboration presents a huge range of challenges, as the objectives of professional science often do not align with educational objectives. This article explores the quality of initiatives carried out in the school contexts. To address this issue, a tool has been developed to characterize and assess the key dimensions of these initiatives. It has been applied to a set of 46 initiatives selected from a systematic literature review. The analysis allows us to point out some reflections on the quality and aspects that should be taken into account for their design in school classrooms.

**Keywords:** citizen science, school context, evaluation, quality

**Para citar este artículo:** Solé, C., Couso, D., Hernández, M.I. (20XX) ¿Qué ciencia ciudadana se está haciendo en contexto escolar? Una herramienta para su evaluación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* xx(x), xxxx. doi:

### Introducción

En la actualidad encontramos un gran número de investigaciones científicas que cuentan con la contribución de ciudadanía no profesional (Vohland et al., 2021). A pesar de que existen numerosos paradigmas que abogan por la participación de diferentes agentes en una investigación, por ejemplo la investigación-acción, actualmente la ciencia ciudadana se ha erigido como un marco común (Nistor, 2019; Societize Consortium, 2013), siendo, por

ejemplo, uno de los pilares de las convocatorias de organismos financiadores como la FECYT o la Comisión Europea.

A su vez, estas iniciativas de ciencia ciudadana también han permeado en las aulas escolares (Kocman et al., 2020; Zoellick et al., 2012), existiendo numerosas iniciativas donde el alumnado participa, junto con sus docentes, en investigaciones científicas reales. Estas iniciativas brindan la oportunidad de hacer en el aula un proyecto de ciencias conectado con personas que se dedican profesionalmente a la ciencia y, en numerosas ocasiones, teniendo la oportunidad de promover la educación ambiental y la conciencia en sostenibilidad (Queiruga-Dios et al., 2020; Roche et al., 2020). Sin embargo, esta colaboración no está exenta de retos, puesto que se deben atender tanto a los objetivos y necesidades de la comunidad educativa como a los de la comunidad científica, y que a menudo no están en consonancia (Roche et al., 2020). Así, desde el punto de vista del aprendizaje de las ciencias, debemos buscar la manera de aprovechar estas nuevas oportunidades con el fin de promover el máximo potencial educativo. Esto nos lleva a preguntarnos cuál es la calidad de las iniciativas que se están llevando a cabo para ver qué podemos aprender de las experiencias existentes y aportar a la reflexión sobre ellas: ¿Qué objetivos plantean las iniciativas tanto a nivel científico como educativo?, ¿Cómo es la participación del alumnado en dichas iniciativas?, ¿Cómo con los recursos ofrecidos para llevarla a cabo?.

En este artículo se presenta una herramienta que pretende caracterizar y valorar la calidad de iniciativas de ciencia ciudadana en contexto escolar (ICCE). Para ello se han identificado unas dimensiones clave junto con sus diferentes niveles de sofisticación. Esta herramienta se ha aplicado a 46 ICCE que se han seleccionado a través de una revisión sistemática de la literatura, con el fin de discutir y reflexionar sobre su potencial educativo.

## Marco teórico y antecedentes

### ¿Qué objetivos persigue la ciencia ciudadana en contexto escolar?

Uno de los grandes retos que la literatura ha identificado en las ICCE es el equilibrio entre los objetivos científicos y los objetivos educativos (Harlin et al., 2018; Roche et al., 2020). Para que una iniciativa de este tipo sea satisfactoria para todos los agentes, esta debe perseguir con el mismo énfasis tanto el desarrollo de nuevo conocimiento científico como el aprendizaje del alumnado (Zoellick et al., 2012).

Desde el punto de vista de los objetivos científicos, las ICCE deben aportar a la mejora o al desarrollo de nuevo conocimiento científico (Socientize Consortium, 2013). Este hecho diferencia la ciencia ciudadana de otras perspectivas o estrategias de participación, dónde, por ejemplo, la comunicación de resultados existentes ya pueden ser el propio objetivo de la actividad. Así, el desarrollo de este nuevo conocimiento se puede dar en diferentes grados: los resultados pueden ser novedosos para la comunidad local (p. ej. los niveles de contaminación lumínica de un determinado barrio) o pueden aportar al desarrollo del conocimiento científico profesional, siendo la ciencia ciudadana una forma eficiente para ello (p. ej. la contribución de muchas personas analizando un gran volumen de datos de células tumorales a simple vista de forma más rápida y eficiente que de forma convencional).

De la misma manera, en nuestra área hay consenso en afirmar que uno de los objetivos de la educación científica es la alfabetización científica del alumnado (Acevedo, 2004) y el desarrollo de la competencia científica (Couso, 2017; OCDE, 2006). Estos objetivos deberían no solo tener finalidades curriculares, sino también permitir al alumnado tomar decisiones informadas y desarrollar una ciudadanía responsable (Hadjichambis & Reis,

2020), con el fin de no solo comprender su entorno, sino también actuar sobre él (Domènech-Casal, 2018).

### **¿Cómo contribuye el alumnado a las ICCE?**

La principal característica que diferencia la ciencia ciudadana de la ciencia “tradicional” es la contribución de la ciudadanía no profesional. Existen diferentes modelos de participación pública en investigaciones científicas según las fases en las que la ciudadanía participa y su implicación en ella. Uno de los modelos más conocidos es la propuesta de Bonney et al. (2009) en la que diferencia iniciativas donde la participación ciudadana consiste prácticamente solo en la recogida de datos (proyectos contributivos), iniciativas donde la ciudadanía participa en la recogida y el análisis de datos (proyectos colaborativos) e iniciativas donde la ciudadanía participa en todas las fases de una investigación científica, proyectos cocreados). Ante esta clasificación, la literatura existente apunta que la mayoría de iniciativas que se están llevando a cabo son del primer tipo (Phillips et al., 2019), donde la ciudadanía contribuye en la recolección de datos.

De la misma manera ocurre en las iniciativas que se llevan a cabo en contexto escolar, donde el alumnado puede participar solo en la recogida de datos o contribuyendo al diseño y realización de otras fases de la investigación.

### **¿Cómo contribuye la ICCE al alumnado?**

Tal y como se ha discutido anteriormente, el objetivo de la educación científica en las escuelas es promover el desarrollo de la competencia científica del alumnado. Estamos de acuerdo en que para fomentar su desarrollo en profundidad el alumnado se debe involucrar en prácticas análogas a las de la ciencia (Osborne, 2014), como la modelización, la indagación o la argumentación, así como en la reflexión sobre la propia naturaleza de la ciencia (Acevedo et al., 2005). Aun y así, hay muchas actividades en las que se involucra el alumnado que solo tienen como objetivo informarse o tomar consciencia sobre un tema, por ejemplo, de que reciclar es importante. Siguiendo la argumentación de este ejemplo propuesto por Sanmartí y Márquez (2017), la escuela, sin embargo, debe ser la institución donde el alumnado aprenda a razonar de forma argumentada y fundamentada la importancia del reciclaje y las posibles maneras para hacerlo. Es por ello, que para el análisis de las iniciativas se debe tener en cuenta la diferencia entre aquellas actividades que tengan por objetivo solo concienciar sobre una problemática, y aquellas que busquen construir conocimientos profundos, argumentar en base a pruebas o diseñar y llevar a cabo investigaciones.

Por otro lado, en los últimos años se ha puesto en el centro del debate la necesidad de que el alumnado mejore su posicionamiento, es decir, sus intereses, aspiraciones, autoeficacia, capacidad e identidad hacia las ciencias (Grimalt-Álvaro et al., 2022). En consecuencia, se deberá promover tanto que el alumnado sea competente científicamente, como que desarrolle un posicionamiento positivo hacia la ciencia (Couso et al., 2022). Con esta finalidad, son comunes las actividades donde el alumnado conecta con personas que trabajan en instituciones científicas permitiéndoles conocer modelos menos estereotipados de quién se dedica este ámbito y cómo es la actividad científica (Kim et al., 2018).

### **¿Cómo son los recursos que se ofrecen para conseguir los objetivos?**

Para conseguir con éxito tanto los objetivos científicos como los objetivos educativos, diferentes autores apuntan que, en contexto escolar, es necesario tanto el soporte a los participantes a nivel institucional como a nivel técnico, así como materiales educativos listos

para su uso (Harlin et al., 2018; Kloetzer et al., 2021). Además, Zoellick et al. (2012) también destacan la necesidad de acompañar al profesorado participante mediante formación con el fin de mejorar su confianza sobre sus conocimientos o habilidades haciendo ciencias. Este hecho es especialmente relevante en el contexto de las escuelas de primaria, debido a la falta de confianza de las maestras con relación a las ciencias (Marcos-Merino et al., 2022).

### **Pregunta de investigación**

En este contexto la pregunta de investigación planteada es la siguiente:

- ¿Cuál es la calidad de las iniciativas de ciencia ciudadana escolar que se han llevado a cabo en relación con la misión científica y la misión educativa?

### **Metodología**

#### **Selección de las ICCE**

Con el fin de analizar las ICCE que se han llevado a cabo en las aulas de primaria y secundaria, se ha hecho una revisión sistemática de la literatura usando el Protocolo PRISMA (Page et al., 2021) como estrategia para la selección de los datos.

La revisión sistemática se inició mediante una búsqueda de artículos publicados en revistas que disponen de revisión por pares en la base de datos Web of Science entre el año 2000 y el 2022. Se escogió esta base de datos con la finalidad que la búsqueda fuera amplia en artículos publicados en revistas de impacto internacionales. A su vez, por el contexto donde se ha realizado esta investigación, también se buscaron artículos en las revistas de impacto en didáctica de las ciencias en español de forma manual.

Las palabras clave usadas fueron una combinación de “citizen science” en el título junto con “classroom” o “school” o “student\*” o “pupil” o “learning” en el tema, con el objetivo de incluir el mayor número posible de artículos relacionados con la ciencia ciudadana en contexto escolar. Se obtuvieron 644 artículos de la base de datos de Web of Science, mientras que no se obtuvo ningún artículo bajo estas palabras clave para las revistas españolas en didáctica de las ciencias. En la primera fase de selección, se quitaron de la base de datos 3 artículos duplicados, 5 artículos en una lengua diferente del inglés o del español, 12 artículos que no se encontraron disponibles, 2 notas de retracto de artículos y 1 artículo en pre-publicación incompleto, seleccionando así 621 publicaciones.

En dos fases, primero por el título y resumen del artículo, y después con la lectura completa, se excluyeron las publicaciones según los siguientes criterios de exclusión:

- a) Publicaciones no relacionadas con la ciencia ciudadana de temática científica en contexto escolar de la etapa obligatoria (n excluidos = 547).
- b) Publicaciones que solo involucraban alumnado voluntario y no el conjunto de la clase (n excluidos = 13).
- c) Publicaciones que no explicaban cómo se involucraba el alumnado (n excluidos = 9).
- d) Publicaciones que describían la adaptación de una iniciativa de ciencia ciudadana en el contexto de la pandemia por Covid-19 (n excluidos = 2).

Finalmente, se seleccionaron para la revisión 49 artículos correspondientes a 46 iniciativas de ciencia ciudadana escolar, puesto que 3 iniciativas se explicaban en más de un artículo.

Con el fin de aumentar la transparencia de la aplicación de los criterios de selección y exclusión, la base de datos final, así como todo el proceso, se puede encontrar en Solé et al., (2023) en el repositorio en abierto Zenodo.

### **Instrumento para el análisis de las iniciativas de ciencia ciudadana en contexto escolar**

Con el fin de analizar la calidad de las ICCE se ha elaborado una herramienta teniendo en cuenta la discusión realizada en el marco teórico. Así, se han definido 4 niveles para cada una de las dimensiones analizadas: los objetivos, la contribución del alumnado a la ICCE, la contribución de la ICCE al alumnado y los recursos proporcionados.

A su vez, para los objetivos hemos diferenciado aquellos que tienen como finalidad contribuir al desarrollo de la ciencia (misión científica) de aquellos relacionados con lo que se espera que el alumnado aprenda (misión educativa). Del mismo modo, se han diferenciado los recursos que se ofrecen con finalidades científicas, por ejemplo, un protocolo de calibración de un sensor (misión científica), de los recursos que se ofrecen con finalidades educativas, por ejemplo, unas actividades didácticas que ayuden al alumnado a comprender el mecanismo que usa el sensor para medir (misión educativa). Así, los recursos no se han diferenciado por el tipo, sino por la finalidad con la que se pretenden usar.

Con el objetivo de dotar de robustez a la herramienta y dar validez al análisis, se utilizó una triangulación entre investigadoras. En una primera fase, la primera autora de esta contribución analizó cada una de las dimensiones en 10 ICCE. Este análisis se compartió con las demás autoras y se discutió en profundidad la asignación de cada nivel a cada una de las iniciativas, consensuando y refinando así los niveles de la herramienta en base a esta evaluación inicial. A partir de este consenso, se realizó el análisis para el total de las 46 ICCE, que también se compartió y consensuó entre las tres autoras de este trabajo.

**Tabla 1.** Herramienta para el análisis de la calidad de las iniciativas de ciencia ciudadana escolar en contexto escolar. El nivel 0 es el nivel de menor calidad y el Nivel 3 el nivel más sofisticado.

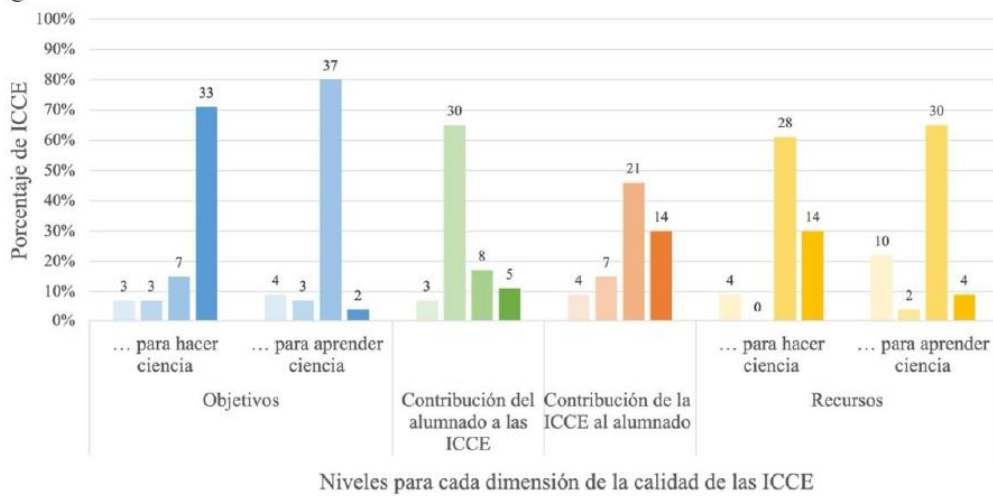
|  | Nivel 0   | Nivel 1  | Nivel 2  | Nivel 3   |
|--|---|--|--|---|
| <b>Objetivos relacionados con la misión científica</b> | No se identifica ningún objetivo de forma explícita relacionado con el desarrollo de conocimiento científico. | El objetivo de la ICCE en relación con la ciencia es desarrollar nuevo conocimiento para los estudiantes y la comunidad local. | El objetivo de la ICCE en relación con la ciencia es desarrollar nuevo conocimiento para la comunidad científica profesional.          | El objetivo de la ICCE en relación con la ciencia es desarrollar nuevo conocimiento para la comunidad científica profesional donde la ciencia ciudadana se presenta como la opción más eficiente. |
| <b>Objetivos relacionados con la misión educativa</b>  | No se identifica ningún objetivo de forma explícita relacionado con el aprendizaje de las ciencias.           | El objetivo educativo de la ICCE está orientado a un aprendizaje que en esencia sólo es relevante para la iniciativa.          | El objetivo educativo de la ICCE está orientado a un aprendizaje científico relevante para la iniciativa que tiene sentido curricular. | El objetivo educativo de la ICCE está orientado a un aprendizaje científico relevante para la iniciativa que tiene sentido curricular y orientado a la acción personal y/o social.                |
| <b>Contribución del</b>                                | La contribución   | El alumnado contribuye solo en un  | El alumnado contribuye en más de   | El alumnado contribuye en la  |

|  |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
| <b>alumnado a las iniciativas de ciencia ciudadana (ICCE)</b>                | del alumnado no es clara.   | aspecto de la ICCE, normalmente en la recogida de datos.   | un aspecto a la ICCE, normalmente recogiendo datos pero también ayudando a definir el problema, las estrategias de recogida de datos, el análisis o la diseminación de resultados.   | mayoría de aspectos de la ICCE, normalmente definiendo el problema, diseñando las estrategias y la recogida de datos, analizando los datos y diseminando los resultados.   |
| <b>Contribución de la iniciativa de ciencia ciudadana (ICCE) al alumnado</b> | La ICCE no especifica cómo puede contribuir al aprendizaje científico del alumnado. | Las actividades propuestas por la ICCE pueden contribuir a concienciar al alumnado sobre una problemática científica y/o conocer una institución científica.   | Las actividades propuestas por la ICCE pueden contribuir al aprendizaje de algún contenido científico (conceptual, de prácticas científicas, NdC,...) y/o mejora del posicionamiento STEM de forma superficial.  | Las actividades propuestas por la ICCE pueden contribuir al desarrollar algún aspecto de la competencia científica y la mejora del posicionamiento STEM en profundidad.  |
| <b>Recursos relacionados con la misión científica</b>                        | La ICCE no especifica ningún tipo de soporte ni recurso.                            | El soporte no facilita la colaboración entre equipo científico y alumnado (p. ej., no hay ninguna visita del equipo científico en relación con los objetivos científicos), ni se ofrece formación ni recursos al profesorado o estos solo son de carácter operativo (p. ej., el calendario de implementación de los protocolos). | El soporte facilitado promueve la colaboración entre equipo científico y alumnado (p. ej., supervisando la recogida de datos), o se ofrece formación al profesorado (p. ej., sobre el uso de los instrumentos de recogida de datos) o recursos (p. ej., protocolos de calibración de un sensor).                         | El soporte facilitado promueve la colaboración entre equipo científico y alumnado (p. ej., supervisando la recogida de datos), se ofrece formación al profesorado (p. ej., sobre el uso de los instrumentos de recogida de datos) y recursos (p. ej., protocolos de calibración de un sensor).                         |
| <b>Recursos relacionados con la misión educativa</b>                         | La ICCE no especifica ningún tipo de soporte ni recurso.                            | El soporte no facilita la colaboración entre equipo científico y alumnado (p. ej. no hay ninguna visita del equipo científico en relación con los objetivos educativos), ni se ofrece formación ni recursos al profesorado o estos solo son de carácter operativo (p. ej., un calendario de las actividades de aula).            | El soporte facilitado promueve la colaboración entre equipo científico y alumnado (p. ej., dando feedback al alumnado sobre el diseño de sus experimentos), o se ofrece formación al profesorado (p. ej., sobre aspectos relacionados con el aprendizaje o las ideas previas del alumnado sobre ese fenómeno) o recursos | El soporte facilitado promueve la colaboración entre equipo científico y alumnado (p. ej., dando feedback al alumnado sobre el diseño de sus experimentos), se ofrece formación al profesorado (p. ej., sobre aspectos relacionados con el aprendizaje o las ideas previas del alumnado sobre ese fenómeno) y recursos |

|  |  |  |                                  |                                  |
|--|--|--|----------------------------------|----------------------------------|
|  |  |  | (p. ej., materiales didácticos). | (p. ej., materiales didácticos). |
|--|--|--|----------------------------------|----------------------------------|

## Resultados y discusión

Mediante el uso de la herramienta descrita encontramos que las iniciativas se distribuyen, para cada una de las dimensiones, según los diferentes niveles tal y como se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Distribución de los resultados de las ICCE para cada una de las dimensiones. De color creciente de intensidad se muestran los niveles de menor a mayor calidad.

### Resultados en relación con los objetivos de las ICCE

En las ICCE seleccionadas encontramos que, en relación con los objetivos relacionados con la misión científica, el 71% de ellas se encuentran en un Nivel 3, donde el objetivo es el desarrollo de conocimiento nuevo para la comunidad científica profesional para el que la ciencia ciudadana es la opción más eficiente. Por ejemplo, en este nivel encontramos muchas iniciativas que necesitan de una gran recogida de datos, ya sea, por ejemplo, por la extensa zona geográfica a cubrir (p. ej. *National Marine Debris Project* por van der Velde et al. (2017)) como por el gran muestreo necesario para llevar un monitoreo de una especie (p. ej. *Hummingbird Project* por Williams et al. (2021)) o por la imposibilidad de recoger muestras sin la participación de la comunidad afectada (p. ej. *GET WET!* por Thornton y Leahy (2012)). Por otro lado, el 15% de las iniciativas se sitúan en el Nivel 2 donde la ciencia ciudadana no se presenta como un requisito para poder alcanzar los objetivos científicos. Y el 7% en el Nivel 1, donde el conocimiento que se pretende desarrollar es nuevo para el alumnado y/o la comunidad local, pero no tiene por qué serlo para la comunidad científica, por ejemplo el *Lesser Krestel Educational Program* por Gal y Yosef (2018), donde el alumnado monitorea unos nidos de pájaros que hay en la escuela y comparte los resultados mediante una plataforma. Cabe destacar que hay un 7% de las iniciativas que se encuentran en el Nivel 0, donde explícitamente no se destaca ningún objetivo relacionado con el desarrollo del conocimiento científico.

Por otro lado, en relación con los objetivos relacionados con la misión educativa, el 80% de las iniciativas se encuentra en el Nivel 2, donde los objetivos están orientados a un aprendizaje científico que es relevante para la iniciativa y tiene sentido curricular. Por ejemplo, en el *Great Arizona Mosquito Hunt* por Tarter et al. (2019) se presenta como objetivo dar a conocer la transmisión de enfermedades a través de los mosquitos, así como ideas relacionadas con la biología de los mosquitos, a partir de que el alumnado recoja muestras de huevos de mosquitos de su vecindario y participe en diferentes actividades. Por otro lado, el 7% de las iniciativas se sitúa en el Nivel 1 donde los objetivos están orientados a un aprendizaje científico que en esencia sólo es relevante para la iniciativa. Un ejemplo sería la iniciativa *EXTraS* por D'Agostino et al. (2020) donde el aprendizaje del alumnado está orientado a que aprenda a diferenciar fuentes de rayos X, con el fin de ayudar a la identificación de nuevas fuentes y su caracterización, pero sin ningún objetivo con sentido curricular explícito. En el otro extremo, un 4% de las iniciativas se recogen en el Nivel 3 teniendo como objetivo y resultado que el alumnado actúe sobre su entorno. Por ejemplo, en la iniciativa *WeatherBlur* por Kermish-Allen et al. (2019), los autores citan “*WeatherBlur* was a citizen science project that aimed to utilize digital tools to empower elementary students to use data to inform local decision making”. Finalmente, cabe destacar que hay un 9% de las iniciativas que se encuentra en el Nivel 0, donde explícitamente no se destaca ningún objetivo relacionado con el aprendizaje del alumnado.

Combinando tanto objetivos relacionados con la misión educativa como la científica, con la finalidad de explorar el balance entre los dos, encontramos que solo el 4% se encuentran en el Nivel 3 para ambos objetivos.

### **Resultados en relación con la contribución del alumnado a las ICCE**

El 65% de las ICCE seleccionadas se encuentra en el Nivel 1, donde el alumnado solo participa en una etapa de la investigación, normalmente, en la fase de recogida de datos. Este resultado está de acuerdo con la literatura que apunta que en la mayoría de iniciativas la contribución de la ciudadanía se encuentra en este punto de la investigación. En este Nivel 1 podemos encontrar iniciativas, por ejemplo, donde el alumnado recoge datos sobre especies de avispas (Fagan-Jeffries y Austin, 2021) o contaminación por plásticos (Hidalgo-Ruz y Thiel, 2013; Syberg et al., 2020; van der Velde et al., 2017). Por otro lado, el 17% de las iniciativas se sitúa en el Nivel 2, donde el alumnado aparte de la recogida de datos también participa en el análisis o en otras fases de la investigación, como la difusión de los resultados. Por ejemplo, en este nivel encontramos la iniciativa *Urban bird feeding experiment* por (Soanes et al., 2020) donde el alumnado, con la estrecha colaboración de una persona que se dedica profesionalmente a la ciencia, a partir de una pregunta de investigación dada, pensaba su hipótesis, decidía la estrategia de muestreo y la llevaba a cabo. Así, llevado al extremo dónde el alumnado contribuye en la mayoría de las fases de la investigación encontramos en el Nivel 3 el 11% de las iniciativas, por ejemplo en la iniciativa *Air quality measurements in high schools* por Grossberndt et al. (2021) dónde el alumnado diseña y lleva a cabo una investigación sobre la calidad del aire. Finalmente, aquellas iniciativas que no destacan ningún objetivo relacionado con el desarrollo del conocimiento científico (7%) tampoco explicitan la contribución del alumnado.

### **Resultados en relación con cómo la ICCE contribuye al aprendizaje del alumnado**

En la dimensión de cómo contribuyen las iniciativas al aprendizaje del alumnado encontramos más disparidad. El 46% de las iniciativas se encuentran en el Nivel 2, donde las actividades propuestas pueden contribuir al aprendizaje de algún contenido científico (conceptual, de prácticas científicas, de naturaleza de la ciencia, entre otros) y/o mejora del

posicionamiento STEM de forma superficial. En este nivel encontramos, por ejemplo, la iniciativa *Pollinators in the playground* por Prendergast et al. (2021) en la que el alumnado “aprende sobre insectos y cómo identificarlos” o la iniciativa *Mass Experiment* por Syberg et al. (2020) donde el alumnado es “introducido a los tipos más comunes de polímeros y la recogida y caracterización de plásticos”. A pesar de que este tipo de iniciativas abordan alguna idea relacionada con la ciencia, no buscan contribuir al desarrollo de la competencia científica y la mejora del posicionamiento STEM, como serían las iniciativas situadas en el Nivel 3. En el Nivel 3 encontramos el 30% de las iniciativas seleccionadas. Por ejemplo, podemos, *Perceiving the value of chemistry behind water and microplastics* por Araújo et al. (2022) propone actividades tanto para que el alumnado tome conciencia de la problemática de los micro plásticos en el agua, promueve conocimiento conceptual sobre química y el desarrollo de habilidades de laboratorio. Por otro lado, las iniciativas en el Nivel 1 representan el 15% y son iniciativas donde las actividades pueden contribuir a la concienciación del alumnado sobre un problemática y/o conocer una institución científica. Por ejemplo, en la iniciativa *EDUMAR – Educating for the Sea* por Boaventura et al. (2021) el objetivo principal es “educar para la preservación y la sostenibilidad de los mares y sus recursos” y “las actividades están relacionadas con el tema central del proyecto, con particular énfasis en concienciar al alumnado sobre la importancia del monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua del mar y la distribución de especies”. Finalmente, aquellas iniciativas que no destacaban ningún objetivo relacionado con el aprendizaje del alumnado (9%) tampoco explicitan ninguna contribución en relación con el aprendizaje.

### **Resultados en relación con cómo son los recursos que se ofrecen para conseguir los objetivos de la iniciativa**

Con relación a los recursos y soporte que se ofrece hay diferencia con respecto a los recursos que tienen por objetivo facilitar a alumnado y profesorado al aprendizaje de las ciencias y los recursos que se ofrecen para llevar a cabo los objetivos científicos de la iniciativa.

En el caso de los recursos relacionados con la misión científica, el 61% de las iniciativas se sitúa en el Nivel 2, es decir, que los recursos promueven alguno de los tres factores investigados (colaboración, formación o recursos materiales). Por ejemplo, en la iniciativa *First small plastic debris sampling on Chilean beaches* por Hidalgo-Ruz y Thiel (2013), el equipo científico supervisa la recogida de datos; la iniciativa *Air quality measurements in high schools* por Grossberndt et al. (2021) ofrece formación al profesorado sobre aspectos científicos relacionados con la contaminación y la interpretación de datos; o la iniciativa *eMammal* por Schuttler et al. (2019) forma al profesorado sobre protocolos para tomar fotos con cámaras trampa. En el Nivel 3 encontramos el 30% de las iniciativas, donde se incluyen todos los recursos y soportes en los tres ámbitos destacados anteriormente, como el caso de la iniciativa *GET WET!* por Thornton y Leahy (2012) donde facilitadores colaboran con el alumnado para la recogida de muestras, se ofrece formación al profesorado y recursos para aplicar los parámetros de la calidad del agua a las muestras recogidas por el alumnado. Por otro lado, en solo el 9% de las iniciativas no se detalla ningún tipo de recurso relacionado con la misión científica.

En el caso de los recursos para la misión educativa, el 65% de las iniciativas se sitúa en el Nivel 2, es decir, que los recursos promueven alguno de los tres factores investigados (colaboración, formación o recursos materiales) con finalidades educativas. Por ejemplo, en la iniciativa *Insect investigators* por Fagan-Jeffries y Austin (2021) se promovía la colaboración entre alumnado y equipo científico de forma continuada con diferentes visitas para presentar aspectos relacionados con los insectos y la taxonomía y ayudar al alumnado

a reflexionar sobre el proceso llevado a cabo; la iniciativa *LIMPETS* por Freiwald et al. (2018) ofrecía formación al profesorado así como unidades didácticas según los estándares de su currículum con actividades de aula y herramientas didácticas para el profesorado. Así, a diferencia de los resultados en relación con los recursos para la misión científica, solo el 9% de las iniciativas ofrece recursos y soporte en los tres ámbitos destacados anteriormente (Nivel 3), como el caso de la iniciativa *Nature in your backyard* por Kelemen-Finan et al. (2018) donde el profesorado participa de formaciones a cargo del equipo científico y el equipo educativo, el equipo científico visita cada clase tres veces durante del proyecto y se ofrecen materiales educativos. Por otro lado, el 22% de las iniciativas no ofrece ningún soporte ni recurso (Nivel 0) y el 4% ofrece solo recursos de carácter operativo (Nivel 1), por ejemplo, la iniciativa *PowerStreams* por Weigelhofer et al. (2019) se ofrece una programación de cada sesión “teniendo en cuenta el horario del alumnado, el número de participante y el equipamiento necesario”.

### Una aplicación cualitativa de la herramienta: comparando la calidad de dos ICCE similares

En la discusión anterior se ha ofrecido un análisis sobre cómo son las ICCE en relación con cómo son sus objetivos, la contribución del alumnado, la contribución de la iniciativa y los recursos ofrecidos. A continuación se profundizará en el uso de la herramienta para evaluar dos iniciativas de forma cualitativa: la iniciativa *Future Forest* publicada por Schneiderhan-Opel y Bogner (2020) y la iniciativa *Urban habitat for pollinators* publicada por Saunders et al. (2018) con el fin de discutir en profundidad cómo la herramienta presentada nos sirve para valorar la calidad.

Las dos iniciativas pueden parecer, a priori, muy similares. En ambas el alumnado debe recoger datos sobre su entorno relacionados con la preservación de la biodiversidad. En el primer caso, el alumnado recoge muestras del suelo forestal con el objetivo de que el equipo científico pueda extraer ADN de la fauna de ese ecosistema y, en el segundo, el alumnado monitorea la biodiversidad mediante el recuento de insectos polinizadores de su entorno. Así, en ambos casos, el alumnado solo participa en la recogida de datos y no contribuye a ninguna otra fase del proceso de investigación, situando ambas iniciativas en el Nivel 1 de la dimensión de la Contribución del alumnado a las ICCE. Bajo el marco relacionado con la participación descrito anteriormente, estas dos iniciativas formarían parte del mismo tipo, siendo proyectos contributivos (Bonney et al., 2009). Sin embargo, si observamos las demás dimensiones propuestas en nuestra herramienta encontramos diferencias relevantes entre ambas. En la Tabla 2 y en la Tabla 3 se encuentra un resumen de cada ICCE para cada dimensión, junto con las citas del artículo que nos han llevado a determinar el nivel.

**Tabla 2.** Descripción de las dimensiones de la iniciativa *Future Forest*.

| <i>Future Forest</i><br>(Schneiderhan-Opel y Bogner, 2020) |  |   |
|--|--|---|
|  | Descripción de la dimensión  | Cita del artículo   |
| <b>Objetivos relacionados con la misión científica</b>     | Los objetivos científicos pretendían establecer una librería digital de códigos de barras de la vida (“DNA barcoding”) para todas las especies de fauna bávara. Debido al gran muestreo que requiere este objetivo, la ciencia ciudadana se presenta como la opción más eficiente. | It “aims to establish a digital library of DNA barcodes for all Bavarian fauna species (Morinière et al., 2016). Soil organism species extracted from student’s forest soil samples were sent to the ZSM, where they were sorted, photographed, and determined by DNA barcoding.” |

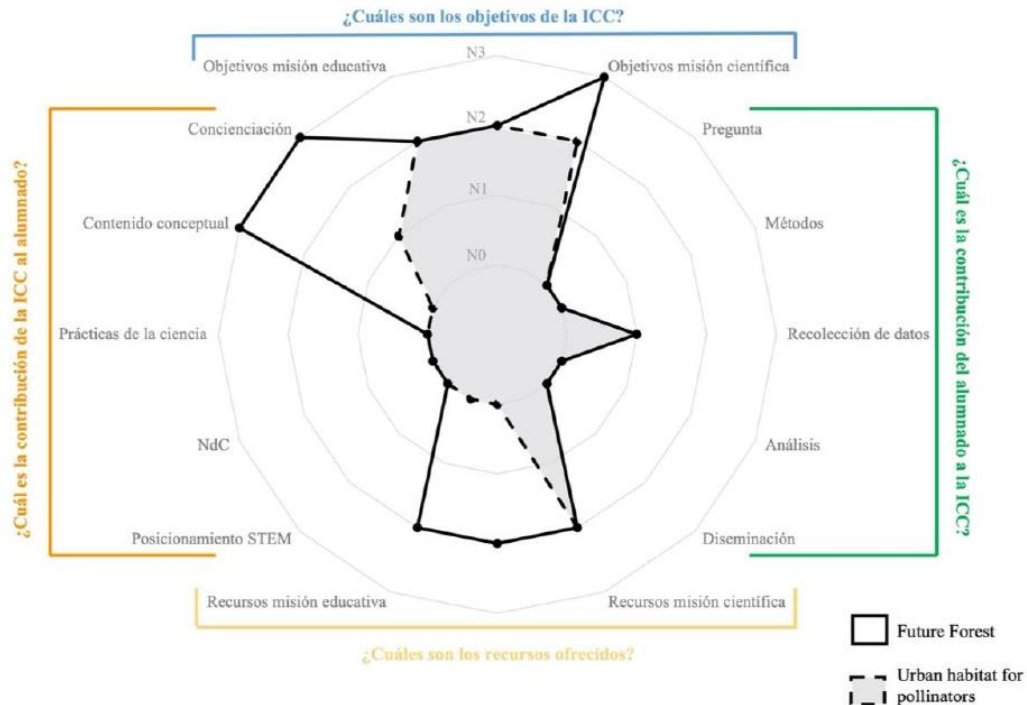
|   |   |  |
|---|---|--|
|   | (Nivel 3)   |  |
| <b>Objetivos relacionados con la misión educativa</b> | Los objetivos educativos buscan que el alumnado: adquiriera una visión general del valor ecológico, económico y social de la biodiversidad y una idea del concepto de la biodiversidad a partir de la fauna del suelo; se dé cuenta que el conocimiento de las especies y las habilidades de identificación forman la base de una preservación exitosa; tome conciencia de los impactos negativos de la actividad humana en la biodiversidad. (Nivel 2) | “The anticipated objectives of our lesson were (1) for students to receive an overview of the ecological, economic, and social value of biodiversity; (2) for students to gain an insight into the concept of biodiversity, based on the example of soil fauna; (3) for students to come to realize that the ecological knowledge of species and identification skills form the basis of successful nature, species, and biodiversity preservation; and (4) for students to develop an awareness of the negative impacts of human activity on biodiversity, based on the example of global climate change and the forest ecosystem”. |
| <b>Contribución del alumnado a las ICCE</b>           | El alumnado contribuye a la recogida de datos, recogiendo muestras del suelo forestal. (Nivel 1)  | “Within the FutureForest project, students contributed to a real research process by collecting forest soil samples to support the Barcoding Fauna Bavarica Project.”  |
| <b>Contribución de la ICCE al alumnado</b>            | El alumnado participa en numerosas actividades para reflexionar sobre ecosistemas, códigos de barras de la vida y su relevancia para la conservación de la naturaleza, el uso de claves dicotómicas para analizar las muestras de suelo forestal recogidas, así como un juego de rol para pensar en escenarios futuros y cambio climático. (Nivel 3)  | “Students worked with an interactive website on ecosystem services provided by forests. The second learning station consisted of an interactive PowerPoint presentation about DNA-barcoding and its relevance for nature conservation. Here, students learned about the importance of species identification for biodiversity preservation and environmental monitoring. (...) Finally, students did a role-play on a future scenario about the conversion of a spruce monoculture, affected by climate change and bark beetle calamities, into a species-rich, mixed forest.”   |
| <b>Recursos relacionados con la misión científica</b> | Se ofrecen al alumnado protocolos para recoger las muestras de suelo forestal. (Nivel 2)  | “Students collected soil samples at forests in the vicinity of their homes. To secure correct sampling, students were trained by their teachers and were given a detailed protocol on how to take the soil sample.”  |
| <b>Recursos relacionados con la misión educativa</b>  | Se ofrece el material de aula (actividades, una web interactiva, etc.) para llevar a cabo el proyecto. (Nivel 2)  | “We decided to integrate the citizen science activity into a biodiversity learning module that corresponds with the respective curriculum.”  |

**Tabla 3.** Descripción de las dimensiones de la iniciativa *Urban habitat for pollinators*.

| <i>Urban habitat for pollinators</i><br>(Saunders et al., 2018) |   |  |
|---|---|--|
|   | <b>Descripción de la dimensión</b>  | <b>Cita del artículo</b>   |
| <b>Objetivos relacionados con la misión científica</b>          | Los objetivos científicos pretendían construir un repositorio de datos, y en concreto, dar respuesta a dos preguntas de investigación. Para responder a estas preguntas la ciencia ciudadana no tiene por qué ser la opción más eficiente, puesto que también se podrían responder sin la colaboración ciudadana. (Nivel 2) | “The longer-term objectives of the programme are to strengthen partnerships between universities, OEH, and the public, and to build a repository of data available to these groups for educational and research purposes. We addressed two research questions: (i) In which habitats were most insects caught? (ii) In which trap colours were most insects caught?” |

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Objetivos relacionados con la misión educativa</b> | El objetivo educativo es involucrar al alumnado en el problema del hábitat de los insectos polinizadores en ambientes urbanos. (Nivel 2)   | “We employed standard methods across multiple schools to engage students with an important conservation problem: habitat for pollinator insects in urban environments.” |
| <b>Contribución del alumnado a las ICCE</b>           | El alumnado contribuye a la recogida de datos, recogiendo insectos mediante métodos estandarizados usando las trampas de diferentes colores. (Nivel 1)   | “Students were told they would be collecting insects around the school grounds using standardized methods involving placing coloured traps in four habitat types.”      |
| <b>Contribución de la ICCE al alumnado</b>            | No se especifican actividades educativas concretas a parte de la propia recogida de datos. (Nivel 1)   | “To engage students with an important conservation problem: habitat for pollinator insects in urban environments.”  |
| <b>Recursos relacionados con la misión científica</b> | El equipo científico visitó las escuelas para presentar la iniciativa y para asistir al alumnado en llevar a cabo los experimentos de manera que se pudieran replicar en otras escuelas. (Nivel 2) | “The collaborating scientist assisted the students to deploy the pan traps and ensure the study was replicated across schools accurately”                               |
| <b>Recursos relacionados con la misión educativa</b>  | No se especifican recursos. (Nivel 0)  | No hay ninguna referencia.  |

Con el fin de poder comparar ambas iniciativas se han representado los diferentes niveles de cada una de las dimensiones mediante un gráfico radial. Los niveles de menor calidad (N0) se encuentran en el interior del gráfico, mientras que los niveles de mayor calidad (N3) se encuentran en el exterior. En esta representación, de acuerdo con investigaciones previas (Solé et al., 2023), se ha desglosado la dimensión de la Contribución de la ICCE al alumnado según los diferentes aspectos que se trabajan (concienciación sobre una problemática, el contenido conceptual, prácticas de la ciencia, Naturaleza de la Ciencia (NdC) y el posicionamiento STEM), y también la Contribución del alumnado a la ICCE se ha desglosado mediante la fase de la investigación en la que el alumnado participa.



**Figura 2.** Representación de los niveles de la calidad para cada una de las dimensiones comparando la iniciativa FutureForest, en línea continua, y *Urban habitat for pollinators* en línea discontinua.

Por una lado, observamos que a pesar de que las dos iniciativas buscan desarrollar nuevo conocimiento científico, en el caso de *Urban habitat for pollinators*, la participación del alumnado se debe a un objetivo de divulgación de la ciencia, puesto que para dar respuesta a las preguntas de investigación propuestas no sería estrictamente necesaria su participación, ya que se podría llevar a cabo el mismo diseño experimental en un laboratorio científico profesional sin la contribución ciudadana (Nivel 2). En cambio, en *Future Forest* los autores declaran que “los investigadores se beneficiaron al recibir muestras de suelo de varias regiones bávaras proporcionadas por los estudiantes. De lo contrario, la recolección de las diversas muestras habría requerido una gran cantidad de tiempo, un gran esfuerzo y gastos” (Nivel 3). Así, este matiz entre el Nivel 2 y el Nivel 3, a nuestro entender, nos permite diferenciar aquellas iniciativas que genuinamente necesitan de la ciencia ciudadana, de aquellas iniciativas que podrían considerarse de divulgación de la ciencia.

Entrando en profundidad en la contribución de las ICCE al alumnado, encontramos que *Future Forest* ofrece al alumnado, además de la actividad de recolección de datos, una secuencia de actividades que tiene por objetivo no solo involucrarse en una investigación, sino también aprender sobre ciencias y reflexionar sobre la relación entre ciencia y sociedad (Nivel 3). En cambio, *Urban habitat for pollinators* no propone ninguna secuencia que acompañe a la propia actividad de recolección de datos y solo busca concienciar (Nivel 1). Bajo nuestro punto de vista, que el alumnado tan solo se involucre en la recogida de datos, sin participar en más actividades escolares, tiene el riesgo de contribuir a una visión de la ciencia como una actividad solo empírica orientada a hacer descubrimientos (Couso, 2017). Además, aunque los datos son necesarios para el hacer de la ciencia, ellos *per se* no son suficientes para llegar a ninguna comprobación y conclusión (Jiménez-Aleixandre, 2010). A

pesar de que el alumnado tan solo contribuya a la ciencia real recogiendo datos, desde la dimensión educativa se deben ofrecer actividades que promuevan prácticas conectadas a la construcción del conocimiento y que huyan de la visión de la ciencia como un proceso lineal.

Finalmente, en lo relativo a los recursos ofrecidos, vemos que de forma concordante con los objetivos y actividades propuestas, en el caso de la iniciativa *Urban habitat for pollinators* no se ofrece ningún recurso con el fin de promover el aprendizaje de la ciencia (Nivel 0), mientras que Future Forest ofrece actividades de aula (Nivel 2). Sin embargo, ambas ofrecen recursos para que la recogida de datos sea de calidad (Nivel 2 de los Recursos relacionados con la misión científica). A pesar de que la visita y guía del equipo científico para recoger los datos pueda favorecer una visión menos estereotipada de las personas que se dedican a la ciencia, en el caso de *Urban habitat for pollinators* tanto la presentación de la ICCE como su desarrollo es llevada al aula por su parte. Bajo este enfoque parece subyacer la idea de que para hacer buena ciencia esta debe ser conducida en el aula por equipos científicos. Esto puede llevar a relegar el papel del docente en un segundo plano, y en consecuencia, se ignora la voluntad didáctica de problematizar el qué, cómo y para qué enseñar (Couso, 2017). Además, para que las actividades tengan continuidad escolar más allá de una iniciativa concreta, se debe formar y empoderar al profesorado en llevar a cabo investigaciones en el aula.

Así, el estudio de las diferentes dimensiones propuestas en la herramienta ha permitido discernir entre dos iniciativas en la que el alumnado contribuía a la ciencia de forma similar, pero que, sin embargo, no estaban desarrolladas del mismo modo en cuanto a las dimensiones educativas. En contexto escolar, no se debe tener solo en cuenta cómo participa el alumnado, sino también cuál es el aprendizaje propuesto y cuáles son los recursos para conseguirlo.

### **A modo de conclusión**

Desde el punto de vista educativo, la herramienta diseñada para la evaluación del análisis de la calidad de las ICCE muestra que no todas las iniciativas disponen del mismo potencial, ya sea por los propios objetivos educativos que se proponen, por cómo se pretenden alcanzar dichos objetivos o cuáles son los recursos que se ofrece para ello. A modo de resumen, aquellas ICCE que sean de calidad deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Los objetivos relacionados con la misión científica y la misión educativa se deben promover de forma equilibrada y fundamentada en los conocimientos profesionales, tanto del ámbito científico como del ámbito educativo, por parte del equipo investigador y diseñador de la iniciativa.
- 2) El alumnado puede contribuir en diferentes fases de la investigación. Sin embargo, si este no participa del proceso de investigación completo, será necesario involucrarlo en actividades escolares análogas a las de la ciencia con el fin de promover visiones realistas, equitativas y justas.
- 3) Las actividades educativas deben promover algún aspecto del desarrollo de la competencia científica del alumnado y promover un posicionamiento positivo hacia las ciencias.
- 4) Docentes y alumnado deben disponer de recursos y soportes para conseguir los objetivos científicos y educativos: formación y acompañamiento para los docentes,

recursos materials para hacer y para aprender ciencia, así como conexión entre el equipo científico y el alumnado.

Cabe tener en cuenta que la herramienta diseñada asume la existencia de otras estrategias para evaluar la calidad de las iniciativas de ciencia ciudadana, como podrían ser los 10 principios de la ciencia ciudadana de la ECSA (ECSA, 2015) y, en consecuencia, esta solo se centra en aspectos relacionados con el punto de vista educativo y su relación con los objetivos científicos. Así, otros aspectos, por ejemplo, el interés por el número de participantes o el rol de los agentes involucrados en el diseño podrían ser de interés, pero no se han incorporado en esta investigación.

Finalmente, en esta investigación se ha analizado el diseño de las ICCE en base a cuáles son los objetivos y actividades propuestas, con el fin de reflexionar sobre qué se está haciendo cuándo se dice que se hace ciencia ciudadana en contexto escolar, pero no se ha analizado si estas propuestas miden el impacto ni cuál es ese impacto. Así, creemos que en los próximos años debemos seguir investigando sobre el impacto real de estas iniciativas en el alumnado.

### Agradecimientos

Trabajo realizado dentro del programa de Doctorado en Educación de la Univeritat Autònoma de Barcelona, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación con los proyectos PGC2018-096581-B-C21 y PID2022-138166NB-C22b y el contrato predoctoral PRE2019-087419 en el grupo SGR ACELEC (2021 SGR 00647).

### Referencias

- Acevedo Díaz, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka Sobre Ensenyament i Divulgació de Les Ciències.*, 1(1), 3–16. [https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2004.v1.i1.01](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2004.v1.i1.01)
- Araújo, J. L., Morais, C., y Paiva, J. C. (2022). Student participation in a coastal water quality citizen science project and its contribution to the conceptual and procedural learning of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 23(1), 100–112. <https://doi.org/10.1039/d1rp00190f>
- Boaventura, D., Neves, A. T., Santos, J., Pereira, P. C., Luís, C., Monteiro, A., Cartaxana, A., Hawkins, S. J., Caldeira, M. F., y Ponces de Carvalho, A. (2021). Promoting Ocean Literacy in Elementary School Students Through Investigation Activities and Citizen Science. *Frontiers in Marine Science*, 8(September), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.675278>
- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J. L., y Wilderman, C. C. (2009). *Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report* (Issue July). Center for Advancement of Informal Science Education (CAISE).
- Booth, J. N., Chesham, R. A., Brooks, N. E., Gorely, T., y Moran, C. N. (2020). A citizen science study of short physical activity breaks at school: Improvements in cognition and wellbeing with self-paced activity. *BMC Medicine*, 18(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01539-4>
- Couso, D. (2017). Per a què estem a STEM? Un intent de definir l'alfabetització STEM per a tothom i amb valors. *Ciències: Revista Del Professorat de Ciències de Primària i Secundària*, 34(34), 22. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.403>

- Couso, D., Grimalt-Álvaro, C., & Simarro, C. (2022). Problematizing STEM Integration from an Epistemological and Identity Perspective. In D. Ortega-Sánchez (Ed.), *Controversial Issues and Social Problems for an Integrated Disciplinary Teaching. Integrated Science, vol 8*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-08697-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08697-7_13)
- D'Agostino, D., Law-Green, D., Watson, M., Novara, G., Tiengo, A., Sandrelli, S., Belfiore, A., Salvaterra, R., & De Luca, A. (2020). A citizen science exploration of the X-ray transient sky using the EXTraS science gateway. *Future Generation Computer Systems*, 111, 806–818. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.10.030>
- Domènech-Casal, J. (2018). Comprender, Decidir y Actuar: Una Propuesta-marco de Competencia Científica para la Ciudadanía. *Revista Eureka*, 15(1). [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i1.1105](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1105)
- ECSA. (2015). Diez principios de ciencia ciudadana. <http://doi.org/10.17605/OSF.IO/XPR2N>
- Fagan-Jeffries, E. P., y Austin, A. D. (2021). Four new species of parasitoid wasp (Hymenoptera: Braconidae) described through a citizen science partnership with schools in regional South Australia. *Zootaxa*, 4949(1), 79–101. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4949.1.4>
- Freiwald, J., Meyer, R., Caselle, J. E., Blanchette, C. A., Hovel, K., Neilson, D., Dugan, J., Altstatt, J., Nielsen, K., y Bursek, J. (2018). Citizen science monitoring of marine protected areas: Case studies and recommendations for integration into monitoring programs. *Marine Ecology*, 39, 1–11. <https://doi.org/10.1111/maec.12470>
- Gal, A., y Yosef, R. (2018). The contribution of citizen science to the conservation of the Lesser Kestrel (*Falco Naumanni*) in Israel. *Journal of Raptor Research*, 52(4), 511–515.
- Grimalt-Álvaro, C., Couso, D., Boixadera-Planas, E., & Godec, S. (2022). “I see myself as a STEM person”: Exploring high school students’ self-identification with STEM. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(5), 720–745. <https://doi.org/10.1002/tea.21742>
- Grossberndt, S., Passani, A., Di Lisio, G., Janssen, A., y Castell, N. (2021). Transformative potential and learning outcomes of air quality citizen science projects in high schools using low-cost sensors. *Atmosphere*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/atmos12060736>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave: Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Graó.
- Hadjichambis, A. C., & Reis, P. (2020). Introduction to the Conceptualisation of Environmental Citizenship for Twenty- First- Century Education. In A. C. Hadjichambis, P. Reis, D. Paraskeva-Hadjichambi, J. Cincera, J. Boeve-de Pauw, N. Gericke, & M.-C. Knipples (Eds.), *Conceptualizing Environmental Citizenship for 21st Century Education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20249-1>
- Harlin, J., Kloetzer, L., Patton, D., y Leonhard, C. (2018). Turning students into scientists. In S. Hecker, M. Haklay, A. Bowser, Z. Makuch, J. Vogel, y A. Bonn (Eds.), *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy* (pp. 410–428). UCL Press. <https://doi.org/10.1021/cen-v033n048.p5162>
- Hidalgo-Ruz, V., y Thiel, M. (2013). Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project.

- Marine Environmental Research*, 87–88, 12–18.  
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.015>
- Kelemen-Finan, J., Scheuch, M., y Winter, S. (2018). Contributions from citizen science to science education: an examination of a biodiversity citizen science project with schools in Central Europe. *International Journal of Science Education*, 40(17), 2078–2098. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1520405>
- Kermish-Allen, R., Peterman, K., y Bevc, C. (2019). The utility of citizen science projects in K-5 schools: measures of community engagement and student impacts. *Cultural Studies of Science Education*, 14(3), 627–641. <https://doi.org/10.1007/s11422-017-9830-4>
- Kim, A. Y., Sinatra, G. M., y Seyranian, V. (2018). Developing a STEM Identity Among Young Women: A Social Identity Perspective. *Review of Educational Research*, 88(4), 589–625. <https://doi.org/10.3102/0034654318779957>
- Kloetzer, L., Lorke, J., Roche, J., Golumbic, Y., Winter, S., y Jõgeva, A. (2021). Learning in Citizen Science. In K. Vohland, A. Land-Zandsra, L. Ceccaroni, R. Lemmens, J. Perelló, M. Ponti, R. Samson, y K. Wagenknecht (Eds.), *The Science of Citizen Science* (pp. 283–308). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4_15)
- Kocman, D., Števanec, T., Novak, R., & Kranjec, N. (2020). Citizen science as part of the primary school curriculum: A case study of a technical day on the topic of noise and health. *Sustainability (Switzerland)*, 12(23), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su122310213>
- Marcos-Merino, J. M., Gallego, R. E., y De Alda, J. A. G. O. (2022). The interplay of prior knowledge, emotions and learning in a science experiment activity. *Ensenanza de Las Ciencias*, 40(1), 107–124. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3361>
- Nistor, A. (2019). Bringing Research Into The Classroom - The Citizen Science approach in schools. Scientix Observatory report.
- OCDE. (2006). *Marco de Evaluación y de Análisis de PISA para el desarrollo: Lectura, Matemáticas y Ciencias*. 97
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 177–196.
- 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. *The BMJ*, 372(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Phillips, T. B., Ballard, H. L., Lewenstein, B. V., y Bonney, R. (2019). Engagement in science through citizen science: Moving beyond data collection. *Science Education*, 103(3), 665–690. <https://doi.org/10.1002/sce.21501>
- Prendergast, K., Vanderstock, A., Neilly, H., Ross, C., Pirota, V., y Tegart, P. (2021). Potential and pitfalls of citizen science with children: Reflections on Pollinators in the Playground project. *Austral Ecology*, 1–7. <https://doi.org/10.1111/aec.13031>
- Queiruga-Dios, M. Á., López-Iñesta, E., Díez-Ojeda, M., Sáiz-Manzanares, M. C., &

- Dorrio, J. B. V. (2020). Citizen science for scientific literacy and the attainment of sustainable development goals in formal education. *Sustainability*, *12*(10). <https://doi.org/10.3390/su12104283>
- Roche, J., Bell, L., Galvão, C., Golumbic, Y. N., Kloetzer, L., Knoben, N., Laakso, M., Lorke, J., Mannion, G., Massetti, L., Mauchline, A., Pata, K., Ruck, A., Taraba, P., y Winter, S. (2020). Citizen Science, Education, and Learning: Challenges and Opportunities. *Frontiers in Sociology*, *5*(December), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fsoc.2020.613814>
- Sanmartí, N., y Márquez, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos : del contexto a la acción. *Ápice. Revista de Educación Científica*, *1*(1), 3–16.
- Saunders, M. E., Roger, E., Geary, W. L., Meredith, F., Welbourne, D. J., Bako, A., Canavan, E., Herro, F., Herron, C., Hung, O., Kunstler, M., Lin, J., Ludlow, N., Paton, M., Salt, S., Simpson, T., Wang, A., Zimmerman, N., Drews, K. B., ... Moles, A. T. (2018). Citizen science in schools: Engaging students in research on urban habitat for pollinators. *Austral Ecology*, *43*(6), 635–642. <https://doi.org/10.1111/aec.12608>
- Schneiderhan-Opel, J., y Bogner, F. X. (2020). FutureForest: Promoting Biodiversity Literacy by Implementing Citizen Science in the Classroom. *American Biology Teacher*, *82*(4), 234–240. <https://doi.org/10.1525/abt.2020.82.4.234>
- Schuttler, S. G., Sears, R. S., Orendain, I., Khot, R., Rubenstein, D., Rubenstein, N., Dunn, R. R., Baird, E., Kandros, K., O'Brien, T., y Kays, R. (2019). Citizen Science in Schools: Students Collect Valuable Mammal Data for Science, Conservation, and Community Engagement. *BioScience*, *69*(1), 69–79. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy141>
- Soanes, K., Cranney, K., Dade, M. C., Edwards, A. M., Palavalli-Nettimi, R., y Doherty, T. S. (2020). How to work with children and animals: A guide for school-based citizen science in wildlife research. *Austral Ecology*, *45*(1), 3–14. <https://doi.org/10.1111/aec.12836>
- Socientize Consortium. (2013). Green paper on Citizen Science. Citizen Science for Europe: Towards a society of empowered citizens and enhanced research. In *Socientize*.
- Solé, C., Couso, D., & Hernández, M. I. (2023). Citizen science in schools: a systematic literature review. *International Journal of Science Education, Part B*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/21548455.2023.2280009>
- Solé, C., Couso, D., & Hernández, M. I. (2022). Selection process of articles for a systematic literature review on citizen science initiatives in school contexts (First version) [Data set]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8094037>
- Syberg, K., Palmqvist, A., Khan, F. R., Strand, J., Vollertsen, J., Clausen, L. P. W., Feld, L., Hartmann, N. B., Oturai, N., Møller, S., Nielsen, T. G., Shashoua, Y., y Hansen, S. F. (2020). A nationwide assessment of plastic pollution in the Danish realm using citizen science. *Scientific Reports*, *10*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74768-5>
- Tarter, K. D., Levy, C. E., Yaglom, H. D., Adams, L. E., Plante, L., Casal, M. G., Gouge, D. H., Rathman, R., Stokka, D., Weiss, J., Venkat, H., y Walker, K. R. (2019). Using citizen science to enhance surveillance of *Aedes aegypti* in Arizona, 2015-17. *Journal of the American Mosquito Control Association*, *35*(1), 11–18. <https://doi.org/10.2987/18-6789.1>

- Thornton, T., y Leahy, J. (2012). Trust in Citizen Science Research: A Case Study of the Groundwater Education Through Water Evaluation y Testing Program. *Journal of the American Water Resources Association*, 48(5), 1032–1040. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2012.00670.x>
- van der Velde, T., Milton, D. A., Lawson, T. J., Wilcox, C., Lansdell, M., Davis, G., Perkins, G., y Hardesty, B. D. (2017). Comparison of marine debris data collected by researchers and citizen scientists: Is citizen science data worth the effort? *Biological Conservation*, 208, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.025>
- Vohland, K., Land-Zandsra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., Samson, R., y Wagenknecht, K. (Eds.). (2021). *The Science of Citizen Science*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4>
- Weigelhofer, G., Pölz, E. M., y Hein, T. (2019). Citizen science: How high school students can provide scientifically sound data in biogeochemical experiments. *Freshwater Science*, 38(2), 236–243. <https://doi.org/10.1086/698765>
- Williams, K. A., Hall, T. E., y O'Connell, K. (2021). Classroom-based citizen science: impacts on students' science identity, nature connectedness, and curricular knowledge. *Environmental Education Research*, 27(7), 1037–1053. <https://doi.org/10.1080/13504622.2021.1927990>
- Zoellick, B., Nelson, S. J., y Schaufler, M. (2012). Participatory science and education: Bringing both views into focus. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 310–313. <https://doi.org/10.1890/110277>

#### 4.5. Resultats: 10 recomanacions per integrar la ciència ciutadana a l'aula de ciències

A continuació es presenta l'article “Participem en una iniciativa de ciència ciutadana? 10 recomanacions per integrar la ciència ciutadana a l'aula de ciències” publicat a la Revista Ciències.

Aquest és un producte de recerca en forma d'article de transferència que hem considerat necessari i oportú d'incloure en la memòria d'aquesta tesi doctoral, ja que ens permet recollir les principals idees extretes en aquesta recerca en relació amb la caracterització de les iniciatives de ciència ciutadana escolar. Sota el nostre punt de vista, els articles de transferència que es basen en la recerca constitueixen part de la recerca educativa, tant per qüestions ètiques com per treballar per reduir la bretxa entre la recerca i la pràctica (Blanco et al., 2018).

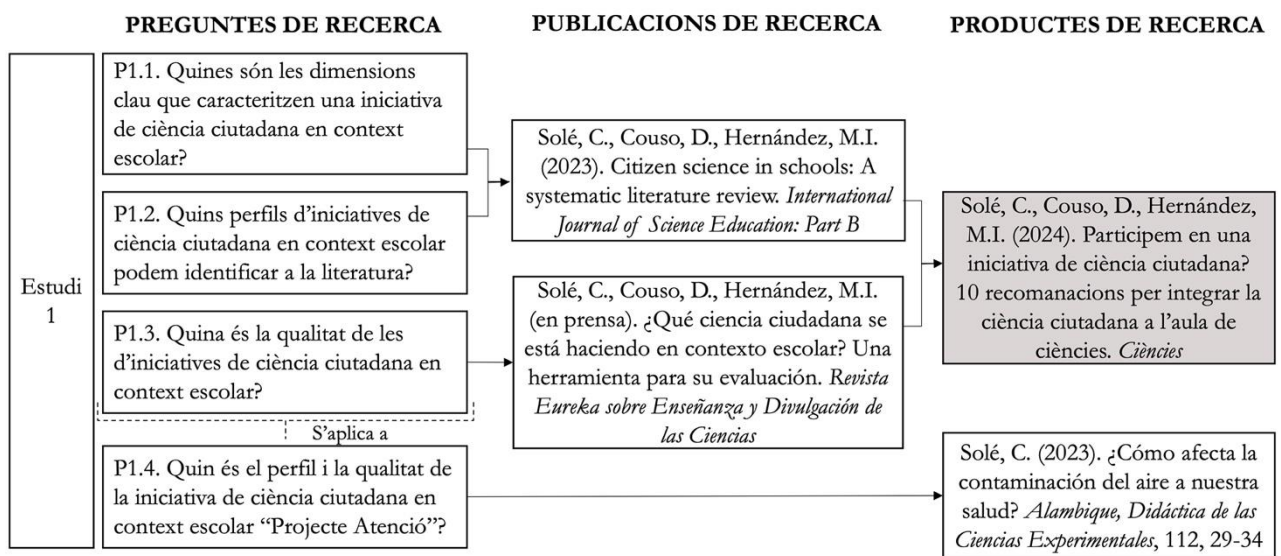


Figura 9. Esquema de l'Estudi 1 de la tesi on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i les altres publicacions que conformen aquest estudi.

#### 4.5.1. Article “Participem en una iniciativa de ciència ciutadana? 10 recomanacions per integrar la ciència ciutadana a l’aula de ciències”

Ciències

Rebut: 29 de novembre del 2023 • Acceptat: 22 de desembre de 2024  
eISSN: 1699-6712 • <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.494>



### Participem en una iniciativa de ciència ciutadana? 10 recomanacions per integrar la ciència ciutadana a l’aula de ciències.

Caterina Solé Martín  
Departament de didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals, UAB  
[caterina.sole@uab.cat](mailto:caterina.sole@uab.cat)

Digna Couso Lagarón  
Departament de didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals, UAB  
[digna.couso@uab.cat](mailto:digna.couso@uab.cat)

María Isabel Hernández Rodríguez  
Institut Gorgs, Cerdanyola del Vallès  
[Mhem372@xtec.cat](mailto:Mhem372@xtec.cat)

**Resum** • En aquest article es reflexiona sobre les potencialitats i reptes de participar en iniciatives de ciència ciutadana dins de les escoles i instituts amb l'objectiu d'aprendre ciències. Es presenta una introducció sobre què entenem per ciència ciutadana, i algunes reflexions basades en la recerca sobre els seus objectius, les contribucions de l'alumnat als objectius científics d'aquestes iniciatives, les contribucions de la iniciativa als objectius educatius i els tipus de recursos que s'ofereixen per a la seva implementació. Finalment, en base a la discussió realitzada es proposen 10 recomanacions per integrar la ciència ciutadana dins les aules de ciències.

**Paraules clau** • Ciència Ciutadana, primària, secundària, educació formal.

---

### Do we participate in a citizen science initiative? 10 recommendations to integrate citizen science in the science classroom.

**Abstract** • In this article, we reflect on the potentials and challenges of participating in citizen science initiatives within primary and secondary schools with the goal of learning science. We provide an introduction to what we understand as citizen science, some reflections based on research about the objectives, students' contributions to scientific goals, the initiative's contributions to educational objectives, and the types of resources offered for its implementation. Finally, based on the discussion conducted, we propose 10 recommendations to integrate citizen science into science classrooms.

**Keywords** • citizen science, primary education, secondary education, formal education.

---

## INTRODUCCIÓ

En els últims anys hem vist com s'ha incrementat l'oferta que arriba a escoles i instituts per participar en activitats que tenen per objectiu que l'alumnat contribueixi d'alguna manera en una recerca científica real: són les anomenades iniciatives de 'ciència ciutadana'. En el nostre context, un dels agents que més ha contribuït a aquesta expansió ha estat l'Oficina de Ciència Ciutadana de Barcelona amb el seu programa Ciència i Escola, així com el 'Observatorio de la Ciencia Ciudadana' a nivell estatal.

Aquestes iniciatives de ciència ciutadana s'han presentat com un escenari idoni per apropar la ciència puntera a les aules, i generar oportunitats perquè l'alumnat dugui a terme una recerca científica sobre algun aspecte del seu entorn en col·laboració amb equips científics professionals. D'altra banda, des del punt de vista científic, aquestes iniciatives també s'han presentat com una oportunitat perquè els equips investigadors obtinguin un gran nombre de dades a través de l'alumnat, recullin dades a les que d'alguna altra manera tindrien difícil accés o facin transferència dels resultats de les seves recerques.

Malgrat les seves potencialitats, aquesta col·laboració entre equips científics i centres d'educació primària i secundària no està exempta de reptes. Així, com a docents i investigadores en didàctica de les ciències ens preguntem sobre el potencial educatiu d'aquestes iniciatives per aprendre ciències dins de l'aula: què hem de tenir en compte per implementar un projecte d'aquestes característiques a l'aula? Com podem exprèmer al màxim el potencial educatiu d'aquest tipus d'iniciatives? Què pot aprendre el nostre alumnat i professorat quan hi participa?

Aquest article pretén aportar a la reflexió sobre les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar amb l'objectiu d'orientar docents i, possiblement, també equips científics i de divulgació i transferència de la recerca a l'hora de portar una iniciativa de ciència ciutadana a les aules amb potencial educatiu. Per fer-ho, en primer lloc, es presenta una breu introducció sobre què és

la ciència ciutadana. Posteriorment, es presenta un resum de recerques sobre com són les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar. Finalment, es proposa un decàleg de recomanacions basades en la recerca sobre la integració de la ciència ciutadana a les aules de ciències.

## QUÈ ÉS LA CIÈNCIA CIUTADANA?

Malgrat que sota el terme 'ciència ciutadana' s'inclouen una gran diversitat d'iniciatives, normalment la ciència ciutadana es refereix a la participació activa del públic general en activitats vinculades a la recerca científica, ja sigui amb el seu esforç intel·lectual, el seu coneixement sobre l'entorn o les seves eines i recursos (Socientize Consortium, 2013). Tot i l'ampli rang de propostes que es poden englobar sota aquesta definició, sovint s'utilitzen els '10 Principis de Ciència Ciutadana' de la *European Citizen Science Association* com a guia per dissenyar aquestes iniciatives (ECSA, 2015). Entre ells es destaca la necessitat que la ciutadania s'involucri activament en tasques científiques i que aquestes produeixin un resultat científic nou, de forma que tant els equips investigadors professionals com la ciutadania surtin beneficiats d'aquesta col·laboració.

Sovint, amb la intenció de classificar la gran varietat de propostes existents, les iniciatives de ciència ciutadana es defineixen segons quin és el tipus de contribució del públic general. Bonney i altres (2009), en la seva popular classificació, defineixen tres tipus d'iniciatives segons si el públic només participa en la recollida de dades (projectes contributius), si el públic participa en la recollida i anàlisi de les dades (projectes col·laboratius) o si el públic participa en gairebé totes les fases d'una recerca científica, des de la generació de la pregunta de recerca fins a la discussió i disseminació dels resultats (projectes cocreats). Aquesta classificació, però, per exemple, no diferencia si la necessitat de fer la recerca prové de la ciutadania o de l'equip investigador professional. En aquest sentit, Shirk i altres (2012) proposen ampliar aquesta classificació diferenciant i afegint aquelles iniciatives en les que el públic general

demana que es dugui a terme una recerca sobre alguna problemàtica del seu context (projectes contractuals) i aquelles iniciatives on el públic general duu a terme una recerca de forma independent amb diferent reconeixement per part dels equips investigadors (projectes col·legiats). Aquestes classificacions, tot i les seves limitacions, poden ser d'ajuda per avaluar quin és el grau de compromís que es requereix i en quin tipus d'activitats científiques s'involucra el públic, o en el cas que ens ocupa, l'alumnat. Ara bé, aquestes no ens permeten conèixer o discernir quin és el potencial educatiu de cada iniciativa, i en conseqüència, considerem que cal tenir en compte diferents aspectes entre les iniciatives de ciència ciutadana amb públic general, d'aquelles que tenen lloc en contextos d'educació formal i en les que es pressuposa impacte educatiu.

## LA CIÈNCIA CIUTADANA DINS DE LES AULES DE CIÈNCIES

A diferència de les iniciatives de ciència ciutadana en les que hi participa el públic general, en contextos d'educació formal l'alumnat no hi participa de forma voluntària, sinó que és una activitat curricular més que es produeix en el temps d'escolarització, i que segons la seva naturalesa pot requerir, o no, el consentiment dels tutors/es legals. Això, d'una banda, fa possible que aquestes iniciatives comptin amb la participació de l'alumnat en el seu conjunt, i per tant, arribin al públic d'una forma més equitativa. D'altra banda, però, això també comporta nous reptes, ja que, per exemple, l'interès o la motivació de l'alumnat en participar-hi no serà equivalent al d'aquelles persones que s'hi involucren de forma voluntària. A més, en formar part de la oferta curricular, requereix que aquestes iniciatives tinguin un encaix en la programació educativa.

Per tal de reflexionar sobre la ciència ciutadana dins les aules de ciències en aquest article presentarem de forma resumida els resultats de dues recerques que hem dut a terme anteriorment i publicades a Solé, Couso i Hernández (2023) i Solé, Couso i Hernández (en premsa) que tenien per objectiu caracteritzar com són les iniciatives de

ciència ciutadana en context escolar. En aquestes recerques, s'ha dut a terme una revisió sistemàtica dels articles publicats en els últims vint anys que reporten iniciatives de ciència ciutadana en contextos d'educació formal. A partir de l'anàlisi de 46 iniciatives hem pogut identificar quatre dimensions clau que ens resulten útils per discutir i reflexionar sobre aquest tipus de propostes: els objectius perseguits, la contribució de la iniciativa a l'alumnat, la contribució de l'alumnat a la iniciativa i quins són els recursos oferts per tal d'implementar-la. A continuació, reflexionarem sobre les 4 dimensions clau basant-nos en els resultats presentats a les publicacions abans citades.

### Objectius de la ciència ciutadana en contextos d'educació formal

A l'implementar una iniciativa de ciència ciutadana dins de les aules de ciències trobem que es combinen els objectius científics que pretén assolir aquella iniciativa, i els objectius educatius que volem que el nostre alumnat assoleixi al participar-hi. D'una banda, els objectius científics de les iniciatives de ciència ciutadana, tal i com hem vist a les seccions anteriors, estan relacionats amb la construcció de nou coneixement científic, ja sigui a partir de l'experimentació, l'observació o el monitoreig. D'altra banda, a l'aula de ciències l'objectiu principal és crear nou coneixement científic escolar, és a dir, que l'alumnat sigui capaç d'explicar fenòmens del seu entorn a partir de models científics existents (Izquierdo, 2014) i dominar les pràctiques científiques anàlogues a les de la ciència (NRC, 2012). Alinear aquests dos objectius, però, no és una tasca fàcil.

En primer lloc, les iniciatives de ciència ciutadana punteres, sovint, busquen donar resposta a una pregunta que involucra diferents models científics complexos, per exemple, la iniciativa MUSICS (Magnetospheric Undulations Sonified Incorporating Citizen Scientists) que busca que l'alumnat analitzi dades d'ones electromagnètiques de baixa freqüència que provenen de la magnetosfera terrestre (Archer et al., 2018). En segon lloc, el coneixement científic sobre el que estem investigant es troba en construcció, i per tant, sovint, no disposem d'un model científic

existent sobre el que la comunitat científica tingui un consens. En conseqüència, fer el procés de reconstrucció didàctica (Duit et al., 2012) per decidir quines són les idees clau que volem que el nostre alumnat construeixi no és un procés trivial.

A partir de la recerca feta hem pogut observar que no totes les iniciatives que s'autoanomenen de ciència ciutadana i que tenen lloc a escoles i instituts disposen d'ambdós objectius. Per una banda, trobem un seguit d'iniciatives en les quals explícitament no es contempla cap objectiu educatiu, i només es posa en relleu la contribució de l'alumnat a la recerca, per exemple, recollint dades. També trobem iniciatives que, malgrat ser molt participatives i amb un alt valor educatiu, no busquen aportar a la construcció de nou coneixement científic. Per posar un exemple fictici, però no gaire allunyat d'iniciatives reals analitzades (p. ex., Babich i altres. (2021) o Thornton i Leahy (2012)), sobre el mateix context de la qualitat de l'aigua a les ciutats podríem trobar tres casos molt diferents: un primer cas on l'alumnat només ha d'aportar mostres de l'aigua de l'aixeta de casa seva perquè un equip científic les analitzi (iniciativa amb només objectius científics); un segon cas on l'alumnat recull mostres d'aigua, n'analitza el pH al laboratori de l'institut i extreu conclusions sobre el pH de l'aigua a les ciutats, però aquests resultats ja són coneguts per la comunitat científica (iniciativa amb només objectius educatius); i un tercer cas on l'alumnat recull mostres d'aigua i les analitza i les compara amb els resultats obtinguts per l'equip científic professional que els ha acompanyat en el procés, que els ha servit tant per desenvolupar destreses tècniques com idees sobre el cicle de l'aigua urbà i el model matèria (iniciativa amb objectius científics i educatius alineats). Sota el nostre punt de vista, considerem que el potencial d'aquest tipus d'iniciatives és que l'alumnat contribueixi en una recerca que tingui sentit fora de l'escola o institut, però evidentment, amb objectius educatius concrets, adequats i adaptats al seu nivell i que busquin que l'alumnat aprengui alguna cosa de i sobre ciències que tingui sentit des de la perspectiva curricular i de la recerca en didàctica.

#### Aportacions de l'alumnat als objectius científics

En relació amb quina és la contribució de l'alumnat per assolir els objectius científics, cal destacar que en la majoria d'iniciatives que hem analitzat, l'alumnat participa principalment en la recollida de dades, i en molt poques ocasions participa en el procés complet de dur a terme una recerca científica. Malgrat que considerem que la contribució de l'alumnat a més fases de la recerca té més potencial educatiu i pot promoure una major qualitat en el nou coneixement científic que es pretén desenvolupar (per exemple, quan s'inclouen les visions de les persones afectades sobre un problema de salut, o s'usa el coneixement de l'entorn en projectes mediambientals), a continuació reflexionem sobre les diferents oportunitats i reptes educatius que suposa cada tipus de contribució.

Involucrar a l'alumnat només en la recollida de dades, ja sigui sortint un dia al riu a recollir mostres d'aigua (per exemple, en el cas de la iniciativa Riunet: <https://www.ub.edu/fem/index.php/ca/inici-riunet>) o fent fotografies sobre la presència de mosquits (per exemple, en el cas de la iniciativa MosquitoAlert: <https://www.mosquitoalert.com/ca/>), pot facilitar la participació d'escoles i instituts en aquest tipus d'iniciatives, ja que és una activitat puntual d'un dia. Tot i les facilitats en termes de logística escolar de temps i d'espais que pot oferir aquesta perspectiva, creiem que cal tenir en compte algunes consideracions a nivell educatiu. En primer lloc, si l'alumnat només participa en la recollida de dades correm el risc de promoure una visió de la ciència purament experimental, sense tenir en compte que l'activitat científica va molt més enllà de recollir dades, sinó també de fer-se preguntes, desenvolupar i usar models, planificar investigacions, analitzar i interpretar dades, usar pensament matemàtic i computacional, construir explicacions, construir arguments d'acord amb les proves i obtenir, avaluar i comunicar informació (NRC, 2012). A més a més, participar només en una fase de la recerca pot promoure visions de la ciència com quelcom poc creatiu i que consisteix només en seguir un protocol al peu de la lletra, passant per alt la dimensió històrica, social i cultural de la ciència (Erduran i Dagher, 2014). Per

últim, caldrà tenir en compte com aquesta contribució s'alinea amb els objectius educatius proposats. Si el nostre objectiu educatiu és, per exemple, que l'alumnat construeixi idees relacionades amb el model ésser viu, seran necessàries activitats d'aula més enllà de la recollida de dades, que posin en joc les idees de l'alumnat sobre aquest model i ofereixin oportunitats per avaluar i revisar aquestes idees en base amb les noves proves obtingudes (Couso, 2020). Malgrat les limitacions apuntades anteriorment, considerem que aquelles iniciatives on l'alumnat només contribueix a la ciència recollint dades poden tenir potencial educatiu si s'acompanyen de seqüències d'ensenyament-aprenentatge amb sentit, que persegueixin els objectius educatius proposats i que, a nivell escolar, acompanyin el fer 'ciència' per ajudar a la ciència i aprendre sobre la ciència professional amb el fer 'ciència escolar' per aprendre la ciència que cal aprendre a l'escola.

En l'altre extrem, tot i que hem vist que són les menys freqüents, trobaríem aquelles iniciatives on l'alumnat participa en la majoria de fases de la recerca, oferint una oportunitat idònia per dur a terme una investigació científica de principi a fi. Cal tenir en compte, però, que en aquestes casos el focus haurà d'estar posat en aprendre a fer preguntes investigables, planificar i dur a terme la metodologia d'una recerca, analitzar dades, etc. Per tal de facilitar aquests objectius d'aprenentatge, caldrà que el fenomen a investigar sigui proper per a l'alumnat i que el temps disponible sigui adient al repte que afronta.

#### Aportacions de la iniciativa als objectius educatius

En les anteriors seccions hem parlat sovint dels objectius educatius, però quins són realment els objectius educatius proposats en aquest tipus d'iniciatives? A la recerca que hem dut a terme hem vist que la majoria d'iniciatives tenen per objectiu conscienciar a l'alumnat sobre el fenomen investigat, sovint un problema mediambiental com la contaminació de l'aire o la pèrdua de la biodiversitat. Aquesta conscienciació, però, en la majoria de casos no es relaciona amb objectius educatius com la construcció de coneixements

(sabers, idees o models clau de la ciència) o pràctiques científiques com la modelització, la indagació i l'argumentació (Couso, 2020). D'altra banda, és usual trobar que les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar es presenten com una oportunitat per promoure la millora en el posicionament STEM de l'alumnat, és a dir, el seu interès, les aspiracions, la percepció de la pròpia capacitat (autoeficàcia), la capacitat i la identitat (Grimalt-Álvaro i Couso Lagarón, 2019), però trobem que en molt poques iniciatives aquest és un objectiu explícit.

Sota el nostre punt de vista, qualsevol objectiu educatiu (conscienciar sobre una problemàtica, construir idees de i sobre ciències, planificar i dur a terme una indagació, reflexionar sobre la naturalesa de la ciència o promoure un millor posicionament STEM) té el seu valor dins de les aules de ciències. Com a docents, i per al conjunt de la comunitat educativa, participar en una iniciativa de ciència ciutadana comporta un esforç extra de coordinació entre l'equip investigador professional, l'alumnat, les famílies i la resta de claustre. Així, creiem que cal aprofitar aquesta participació (i aquest esforç!) per treure'n el màxim de profit educatiu. Sota el nostre punta de vista, els objectius educatius han d'anar més enllà que l'alumnat agafi consciència sobre un problema o tingui contacte amb científics i científiques experts pressuposant que això els orientarà professionalment. Ens cal que s'abordin explícitament també objectius relacionats amb construir idees profundes de i sobre ciències, que permetin, fonamentar en coneixement les decisions i actuacions sobre aquella problemàtica (Domènech-Casal, 2018) amb una perspectiva d'equitat, inclusió, sostenibilitat i justícia global (Couso, 2017).

#### Recursos per tal de dur a terme la iniciativa

Finalment, l'últim element clau identificat són els recursos que s'ofereixen per tal d'assolir tant els objectius científics com els objectius educatius.

En relació amb els objectius científics, pràcticament totes les iniciatives analitzades comptaven amb més d'un tipus de recurs per tal d'assolir-los, per exemple, visites als centres per part dels equips investigadors, formació al professorat,

protocols de recollida de dades, materials necessaris per dur a terme la recerca, aplicacions mòbils, etc.

En relació amb els objectius educatius, la majoria de les iniciatives també disposaven de suport per tal d'assolir-los, per exemple, materials educatius d'aula, visites de l'equip científic per acompanyar i ajudar a l'alumnat a dur a terme la recerca científica o formació relacionada amb els objectius educatius adreçada al professorat participant. En aquest cas, però, hem vist que els recursos oferts són menys diversos i de menor qualitat, ja que, per exemple, la majoria d'iniciatives només oferien un tipus de recurs destinat o a l'alumnat (per exemple, materials educatius), o als docents (per exemple, coneixements sobre les dificultats de l'alumnat o estratègies i eines concretes per ensenyar i fer aprendre aquests continguts) o però en molts pocs casos recursos per ambdós.

En tots dos tipus de recursos, tant per assolir els objectius científics com els educatius, caldrà tenir en compte que siguin útils, adequats i adaptats al nivell educatiu de l'alumnat. Sota la nostra perspectiva, per exemple, considerem que és necessari que la col·laboració entre l'equip investigador i l'alumnat tingui en compte la

perspectiva de gènere i equitat, que existeixi un material educatiu de qualitat que busqui construir alguna idea de o sobre ciències per tal de promoure la competència científica de l'alumnat i la seva millora del posicionament vers les ciències.

## 10 RECOMANACIONS PER INTEGRAR LA CIÈNCIA CIUTADANA A L'AULA DE CIÈNCIES

Amb l'objectiu de recollir algunes de les principals idees reflectides en aquest article, i que es basen en els resultats obtinguts en recerques prèvies i consensos en didàctica de les ciències, a continuació, proposem un decàleg de recomanacions per tal d'integrar la ciència ciutadana a les aules de ciències potenciant-ne la seva missió educativa. (Taula 1)

Aquestes recomanacions pretenen complementar, pel cas de les iniciatives que tenen lloc en context escolar, aquells principis o recomanacions generals de les iniciatives de ciència ciutadana, per exemple, els '10 Principis de Ciència Ciutadana' de la *European Citizen Science Association* (ECSA, 2015).

| <b>10 recomanacions per integrar la ciència ciutadana a l'aula de ciències</b> |   |
|--|---|
| 1.   | Les iniciatives de ciència ciutadana escolar han de buscar assolir els objectius científics i els objectius educatius de forma equilibrada i fonamentada en el coneixement professional tant de l'àmbit científic com de l'àmbit educatiu.  |
| 2.   | Els objectius científics, a més de permetre la construcció de nou coneixement científic, han d'involucrar a l'alumnat en les diferents fases de la recerca (tria de la pregunta, disseny de la metodologia, recollida de dades, anàlisi i/o disseminació dels resultats) necessàries per garantir una visió de la ciència que tingui en compte la seva dimensió històrica, social i cultural.   |
| 3.   | Els objectius educatius de les iniciatives de ciència ciutadana escolar s'han de centrar en la construcció de coneixements (sabers, idees o models clau de la ciència) i pràctiques científiques (modelització, indagació i argumentació) adaptats al nivell de l'alumnat i connectats amb el currículum vigent. Per aconseguir-ho s'han de fonamentar en els resultats i consensos de la recerca educativa i en didàctica de les ciències. |

|  |
|--|
| <p>4. Els objectius educatius de les iniciatives de ciència ciutadana escolar també poden orientar-se a la millora del posicionament STEM (interessos, aspiracions, autoeficàcia i identitat) de l'alumnat. Per tal de promoure'l, cal crear situacions en que l'alumnat senti que pot formar part del desenvolupament de la ciència i de la comunitat científica, promovent visions no estereotipades de les persones que es dediquen professionalment a la ciència sota una perspectiva de gènere i equitat.</p> |
| <p>5. Els objectius educatius de les iniciatives de ciència ciutadana escolar també poden orientar-se a la presa de consciència sobre problemàtiques tant personals com socials i de l'àmbit local i global en la qual es contextualitzen. Per tal de promoure'l poden vincular-se als grans reptes socials que enfrontem des d'una perspectiva d'equitat, inclusió, sostenibilitat i justícia global.</p>   |
| <p>6. Les iniciatives han de disposar de suport de qualitat per assolir els objectius educatius. Aquest suport pot consistir en material didàctic de qualitat tant per l'alumnat com pels docents, acompanyament i formació als docents i/o visites als centres educatius amb l'objectiu de donar retroalimentació a l'alumnat sobre les recerques que estan duent a terme, entre altres.</p>  |
| <p>7. La col·laboració entre docents, equips investigadors sobre la temàtica científica i equips investigadors i formadors en didàctica de les ciències és essencial per crear una comunitat que tingui en compte les necessitats de tots els agents involucrats i promogui la cocreació de les iniciatives i els recursos de suport.</p>  |
| <p>8. Per poder desplegar tant els objectius educatius com els objectius científics caldrà involucrar a tota la comunitat educativa, vetllant per una bona comunicació sobre la iniciativa amb les famílies i amb l'alumnat participant. Les famílies han de donar el seu consentiment informat perquè els seus fills i filles participin de la iniciativa, així com l'alumnat ha de donar el seu assentiment informat i ha de poder dir la seva opinió sobre la iniciativa.</p>                                   |
| <p>9. En el casos on l'alumnat contribueixi a la difusió del desenvolupament de la recerca o dels seus resultats caldrà que l'alumnat pugui actuar de forma apoderada, de forma que se senti partícip d'aquesta recerca i entengui la seva contribució en l'assoliment dels resultats.</p>   |
| <p>10. Cal una avaluació rigorosa i de qualitat de l'assoliment dels objectius educatius proposats a les iniciatives, de forma que aportin a la recerca i a la pràctica en didàctica de les ciències.</p>  |

Taula 1. Decàleg de recomanacions per a integrar la ciència ciutadana a les aules de ciències

## ALGUNES REFLEXIONS FINALS

En aquest llistat hem intentat capturar les idees més rellevants sobre les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar que hem extret a partir de la recerca realitzada, amb la finalitat de reflexionar sobre què cal tenir en compte si volem

promoure l'aprenentatge de les ciències en participar en una iniciativa de ciència ciutadana dins l'aula. Per poder treure el màxim potencial educatiu d'aquestes iniciatives cal de la nostra planificació i intencionalitat com a docents, acompanyant la contribució a la ciència real amb un aprenentatge profund sobre algun aspecte relacionat amb les ciències.

## AGRAÏMENTS

Aquest article s'ha dut a terme dins del Programa de Doctorat en Educació de la Universitat Autònoma de Barcelona, amb el finançament del Ministeri de Ciència i Innovació en el marc dels projectes PGC2018-096581-B-C21 i PID2022-138166NB-C22b, i es va realitzar dins del grup de recerca SGR ACELEC (2021 SGR 00647). C.S. ha comptat amb el finançament d'un contracte predoctoral finançat (PRE2019-087419).

## BIBLIOGRAFIA

- Archer, M. O., Hartinger, M. D., Redmon, R., Angelopoulos, V., i Walsh, B. M. (2018). First Results From Sonification and Exploratory Citizen Science of Magnetospheric ULF Waves: Long-Lasting Decreasing-Frequency Poloidal Field Line Resonances Following Geomagnetic Storms. *Space Weather*, 16(11), 1753–1769.  
<https://doi.org/10.1029/2018SW001988>
- Babich, R., Craig, E., Muscat, A., Disney, J., Farrell, A., Silka, L., i Jayasundara, N. (2021). Defining drinking water metal contaminant mixture risk by coupling zebrafish behavioral analysis with citizen science. *Scientific Reports*, 11(1), 1–11.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-96244-4>
- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J. L., i Wilderman, C. C. (2009). *Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report* (Issue July). Center for Advancement of Informal Science Education (CAISE).
- Couso, D. (2017). Per a què estem a STEM? Definint l'alfabetització STEM per a tothom i amb valors. *Revista Ciències . Revista Del Professorat de Ciències d'Infantil, Primària i Secundària*, (34), 22–28.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ciencias.403>
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos. In D. Couso, M. R. Jiménez-Liso, C. Refojo, i J. A. Sacristán (Eds.), *Enseñando Ciencia con Ciencia. FECYT i Fundación Lilly* (pp. 63–74). Penguin Random House.
- Domènech-Casal, J. (2018). Comprender, Decidir y Actuar: Una Propuesta-marco de Competencia Científica para la Ciudadanía. *Revista Eureka*, 15(1).  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i1.1105](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1105)
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., i Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction - a framework for improving teaching and learning science. *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective, December 2014*, 13–37.  
<https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8>
- ECSCA. (2015). *Diez principios de ciencia ciudadana*.  
<http://doi.org/10.17605/OSF.IO/XPR2N>
- Erduran, S., Dagher, Z. R. (2014). Science as a social-institutional system. In Erduran, S., Dagher, Z. R. (Ed.), *Reconceptualizing the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories* (pp. 137–162). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Grimalt-Álvaro, C., i Couso Lagarón, D. (2019). “No va amb mi” La influència del disseny d'activitats STEM sobre el posicionament de l'alumnat en aquest àmbit. *Universitas Tarraconensis. Revista de Ciències de l'Educació*, 1(2), 133.  
<https://doi.org/10.17345/ute.2019.2.2658>
- Izquierdo, M. (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las ciencias para todos. *Bio-Grafía*, 13, 69–85.  
<https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia69.85>
- Shirk, J. L., Ballard, H. L., Wilderman, C. C., Phillips, T., Wiggins, A., Jordan, R., McCallie, E., Minarchek, M., Lewenstein, B. V., Krasny, M. E., i Bonney, R. (2012). Public participation in scientific research: A framework for deliberate design. *Ecology and Society*, 17(2).  
<https://doi.org/10.5751/ES-04705-170229>
- Socientize Consortium. (2013). Green paper on Citizen Science. Citizen Science for Europe: Towards a society of empowered citizens and enhanced research. In Socientize.

Solé, C., Couso, D., i Hernández, M. I. (2023). Citizen science in schools: a systematic literature review. *International Journal of Science Education, Part B*, 1–17.

<https://doi.org/10.1080/21548455.2023.2280009>

Solé, C., Couso, D., i Hernández, M. I. (en premsa). ¿Qué ciencia ciudadana se está haciendo en contexto escolar? Una herramienta para su

evaluación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.

Thornton, T., i Leahy, J. (2012). Trust in Citizen Science Research: A Case Study of the Groundwater Education Through Water Evaluation & Testing Program. *Journal of the American Water Resources Association*, 48(5), 1032–1040.

<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2012.00670.x>

#### 4.6. Caracterització del perfil i anàlisi del Projecte Atenció com una iniciativa de ciència ciutadana en context escolar

Després de caracteritzar les iniciatives de ciència ciutadana escolar amb una clara intenció global, aquesta secció 4.6. consisteix en l'aplicació de les dimensions, perfils i la gradació de la qualitat de les iniciatives de ciència ciutadana que són resultats de recerca (preguntes P1.1., P1.2. i P1.3.) pel cas del 'Projecte Atenció', de forma que dona resposta la pregunta P1.4. de la tesi doctoral.

A continuació, a la secció 4.6.1. es descriurà en detall el context del Projecte Atenció fent èmfasi en les seves dimensions científica i educativa i, a la secció 4.6.2. es presenta la metodologia de recollida i anàlisi de dades. Posteriorment, a la secció 4.6.3. es presentaran els resultats en relació a la caracterització del perfil i l'anàlisi d'aquesta iniciativa que s'han obtingut al aplicar els resultats de les recerques anteriors. A continuació, a la secció 4.6.4. es presenta un producte de recerca en forma d'article de transferència "¿Cómo afecta la contaminación del aire a nuestra salud?" que recull el disseny i la implementació del 'Projecte Atenció'. Finalment, a la secció 4.6.5. es detallaran les evidències obtingudes en relació amb la qualitat científica i educativa dels resultats obtinguts en aquesta iniciativa.

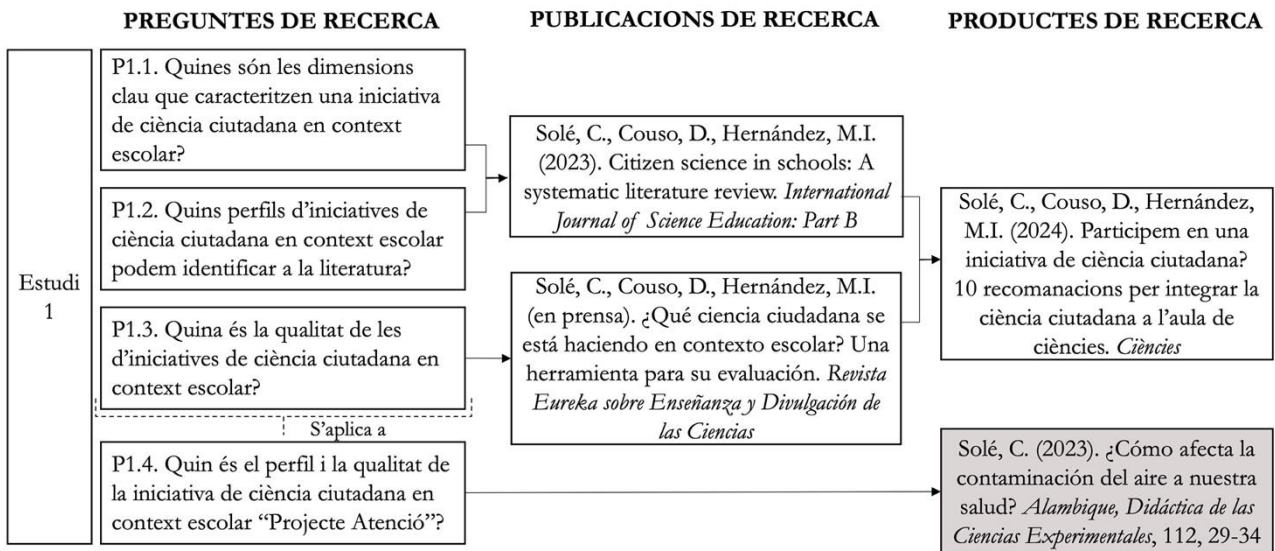


Figura 10. Esquema de l'Estudi 1 de la tesi on es senyala quina és la publicació que es presenta en aquest capítol en relació amb les preguntes de recerca i les altres publicacions que conformen aquest estudi.

#### 4.6.1. Context: descripció de la dimensió científica i educativa del Projecte Atenció

##### 4.6.1.1. Dimensió científica del Projecte Atenció

El Projecte Atenció perseguia dos objectius científics:

- 1) Estudiar la relació entre els nivells de contaminació de l'aire causada per partícules sòlides en suspensió (PM de l'acrònim en anglès *Particulate Matter*) i els canvis a curt termini del processos d'atenció dels i les adolescents.
- 2) Estudiar quins factors proposats pels propis adolescents poden afectar als processos d'atenció.

Per tal de donar resposta a l'objectiu científic 1, els i les adolescents van participar en un experiment científic professional al seu institut. Cada grup-classe participant es dividia de forma aleatòria en dues aules. En cada aula s'instal·lava un purificador d'aire d'iguals característiques externes: un que funcionava correctament purificant l'aire de l'aula, mentre que l'altre no tenia instal·lat el filtre i només recirculava l'aire existent. L'alumnat havia d'estar a l'aula assignada durant 1,5 hores, completant en aquest interval diferents tests psicològics que mesuraven la seva capacitat d'atenció. Amb la participació de 2123 adolescents d'entre 14 i 15 anys, es van analitzar aquests tests i es van obtenir els resultats publicats a Gignac et al., (2021).

Per tal de donar resposta a l'objectiu científic 2, l'alumnat va cocrear juntament amb l'equip científic un qüestionari com a instrument de recollida de dades sobre els factors que creien que podien afectar als seus processos d'atenció (p. ex. si en aquell moment tenien bona relació amb la resta de persones de l'aula). Durant el transcurs de l'experiment relacionat amb l'objectiu científic 1, tot l'alumnat participant va contestar el qüestionari cocreat. Amb l'anàlisi de les dades recollides sobre l'atenció i els factors que declarava l'alumnat, es van obtenir resultats sobre quins d'aquells factors identificats per l'alumnat tenien relació amb una pitjor puntuació als tests d'atenció.

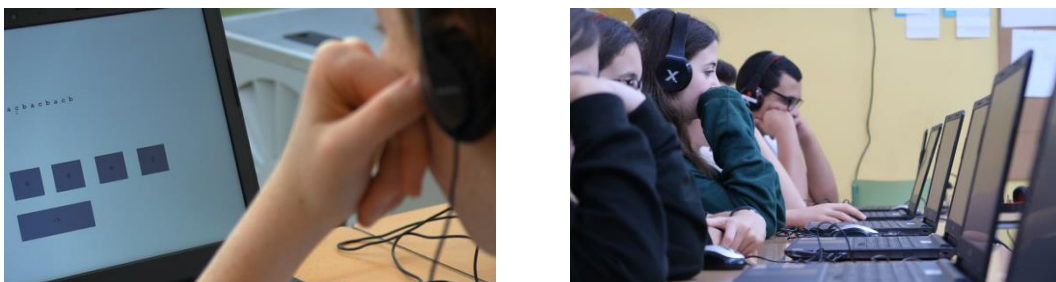



Figura 11. Imatges de l'alumnat realitzant els tests d'atenció. Per a totes aquestes fotografies es van obtenir els drets d'imatges de l'alumnat.

Per tal d'assolir els objectius científics, es van dur a terme diferents mesures de suport:

- Jornades formatives pel professorat sobre la dimensió científica, entre d'altres. En aquestes jornades el professorat va tenir l'oportunitat de conversar amb l'equip científic i formar-se sobre ciència ciutadana. A la Figura 12 es pot veure el programa de la formació en la que va participar el professorat el curs 18-19 i que va tenir lloc el juliol del 2018.

**Ciència Ciutadana escolar: aprendre a fer, parlar i pensar científicament a l'aula en el projecte ATENCIÓ**







|             | Dilluns 9- CosmoCaixa-  | Dimarts 10- CosmoCaixa-   | Dimecres 11-UAB-   |  | Dijous 12 –UAB-  |  |
|-------------|---|---|--|--|--|--|
| Títol       | Com fer, pensar i parlar de ciència ciutadana a l'aula?   | Què és la contaminació?   | Com treballar a l'aula amb sensors?  |  | I tot això, com ho fem?  |  |
| 9:00- 10:00 | Benvinguda i presentació del curs (D. Couso / E. Tena)<br>Activitat Científica Escolar centrada en la Modelització i NOS (I) (D. Couso) | Què sabem i què volem saber sobre la contaminació. Preparació de la xarrada amb els Experts. (E. Tena, I. Pau i C. Solé)  | Aprofundint en les activitats de Bio (I. Pau)  | Aprofundint en les activitats de Química (C. Solé)   | Aprofundint en les activitats d'Indagació (E. Tena)  |  |
| 10:00-10:30 |   |   | Explorant el sensor Smart Citizen (G. Camprodon i S. Fu, IAAC)                           |  | Explorant les activitats del projecte ATENCIÓ: NOS (C. Solé)                               | Explorant les activitats del projecte ATENCIÓ: NOS (D. Couso)  |
| 10:30-11:00 | Pausa   | Pausa   | Pausa  |  |  |  |
| 11:00-12:00 | Taller de Ciència Ciutadana: com implicar a l'alumnat en ciència real, actual i autèntica (Elisabeta Broglio, CRG)                      | Conversa amb els científics sobre la contaminació i els efectes sobre la nostra salut (J. Sunyer, X. Basagaña, IS Global) | Mesurant amb sensor i aprenent a indagar (C. Grimalt)                                    |  | Pensar l'acció final (E. Tena, C. Solé)  | Pensar l'acció final (I. Pau, D. Couso)  |
| 12:00-13:00 | Taller pràctic Ciència ciutadana (E. Tena)      Taller pràctic Ciència ciutadana (D. Couso)   |   |  |  |  |  |
| 13:00-14:00 | Activitat Científica Escolar centrada en la Modelització i NOS (II) (D. Couso)  | Explorant les activitats del projecte ATENCIÓ: Revisió de la seqüència Bio (I. Pau)                                       | Explorant les activitats del projecte ATENCIÓ: Revisió de la seqüència Química (C. Solé) | Explorant les activitats del projecte ATENCIÓ: Revisió de la seqüència Indagació (C. Solé) | Explorant les activitats del projecte ATENCIÓ: Revisió de la seqüència Indagació (E. Tena) | Recerca Didàctica (D. Couso, E. Tena, I. Pau i C. Solé)<br>Tancament i avaluació de la formació (D. Couso) |
|             |    |                                        |      |  |       |  |

Figura 12. Programa de les Jornades formatives del Projecte Atenció per a professorat que va tenir lloc l'estiu del 2018.

- L'equip científic va visitar tots els instituts participants per explicar, dur a terme l'experiment i parlar amb l'alumnat sobre com s'estava duent a terme la recerca i els resultats esperats.
- Es va oferir al professorat material escrit de suport per tal d'aprofundir en els continguts científics relacionats amb la contaminació de l'aire i els seus efectes sobre la salut humana. Per fer-ho, el Dr. Xavier Basagaña, coinvestigador principal del Projecte Atenció, va publicar un article de divulgació per a docents a la *Revista Ciències*: "Els efectes de la contaminació en les persones: què en sabem i de què busquem evidències" (Basagaña, 2018).
- Es va proporcionar material perquè l'alumnat cocreés l'instrument de recollida de dades sobre els factors que consideraven que podia afectar a la seva atenció.
- Durant tota la implementació del projecte, el professorat participant disposava d'una secretaria tècnica on realitzar qualsevol consulta en relació amb la dimensió científica de la iniciativa.

- Posteriorment a la participació, es va fer retorn a tots els instituts participants sobre els resultats dels nivells de contaminació de l'aire del seu centre educatiu.

#### 4.6.1.2. Dimensió educativa del Projecte Atenció

Des de la dimensió educativa el Projecte Atenció tenia com a objectiu general alfabetitzar i apoderar a la comunitat educativa, i especialment a l'alumnat, en la presa de decisions i actuació respecte a la problemàtica de la contaminació de l'aire. Per tal d'assolir els objectius educatius es va dissenyar una Seqüència d'Ensenyament-Aprenentatge (SEA) basada en el marc de les pràctiques científiques que aprofundia en idees relacionades amb com és la contaminació atmosfèrica, els efectes de la contaminació en la salut, el procés de dur a terme una recerca científica, així com el foment d'accions per a reduir-la. El disseny i implementació d'aquesta SEA serà discutida al següent capítol d'aquesta tesi en profunditat.



*Figura 13. Imatges del professorat participant a les jornades de formació i l'alumnat participant en les activitats de la SEA. Per a totes aquestes fotografies es van obtenir els drets d'imatges de l'alumnat.*

Per tal d'assolir els objectius educatius, es van dur a terme diferents mesures de suport:

- Jornades formatives pel professorat sobre la dimensió educativa. A la Figura 12 es poden observar diferents sessions de les jornades on es va compartir amb el professorat el primer prototip de SEA i es van fer dinàmiques de revisió i cocreació d'aquest material i les seves guies docents.
- SEA i la seva corresponent guia didàctica. Aquest material educatiu abordava diferents aspectes relacionats amb com és la contaminació de l'aire i els efectes de la contaminació sobre la salut humana. També es proposava a l'alumnat dur a terme la seva pròpia recerca sobre la qualitat de l'aire del seu institut a través de sensors de partícules sòlides en suspensió a l'aire (PM) i dissenyar accions per mitigar els efectes de la contaminació atmosfèrica a les ciutats. Tant el disseny de la SEA com la pròpia SEA es discutirà en profunditat a l'Estudi 2 d'aquesta tesi.

- Durant tota la implementació del projecte, el professorat participant disposava d'una secretaria tècnica on realitzar qualsevol consulta en relació amb la dimensió educativa de la iniciativa.
- Al final de la iniciativa, l'alumnat participava en un congrés científic escolar on va poder rebre feedback per part de l'equip investigador de les recerques sobre la qualitat de l'aire dissenyades i dutes a terme dins de la SEA. A la Figura 14 es pot veure el programa d'actes del I Congrés del Projecte Atenció.

**I Congrés del Projecte ATENCIÓ**  
CIÈNCIA, CIUTADANIA, CONTAMINACIÓ, COGNICIÓ I COMUNITAT

18 juny 2019 De 10:00h a 13:00h Parc de Recerca Biomèdica de Barcelona (ISGlobal)

COORDINEN: ISGlobal, CRE, CIM  
COL·LABOREN: ICSIC, UPF  
AMB EL SUPORT DE: RecercaCaixa, ACIP, Observatori de l'Ebre

#ProjecteAtenció www.projecteatencio.cat

QUÈ FAREM?

| HORA           | UBICACIÓ  | ACTIVITAT   |
|----------------|---|---|
| 9.30 – 10.00h  | Auditori<br>A la porta de l'Auditori trobareu la recepció i acreditació dels participants | Recepció dels Participants  |
| 10.00 – 11.00h | Auditori  | <b>Presentació: Què hem fet i quins resultats estem obtenint?</b><br>A càrrec de Xavier Basagaña, Jose Barrera, Digna Couso, Cecília Persavento i Caterina Solé |
| 11.00 – 11.30h | Espai exterior  | <b>Esmorzar</b><br>A càrrec de cada estudiant (hi haurà beguda)   |
| 11.30 – 12.45h | Espai exterior  | <b>Sessió pòsters: Quines recerques hem dut a terme als instituts amb l'Smart Citizen kit?</b><br>A càrrec de l'alumnat dels centres i els equips científics    |
| 12.45 – 13.00h | Auditori  | <b>Clausura de l'acte i entrega de premi</b><br>A càrrec de Guillem Camprodon, Digna Couso i Xavier Basagaña  |

Figura 14. Programa del I Congrés científic escolar del Projecte Atenció.

#### 4.6.2. Metodologia de recollida i anàlisi de dades

##### 4.6.2.1. Recollida i anàlisi de dades

Per a la caracterització i anàlisi de la qualitat del Projecte Atenció s'han tingut en compte els elements descrits anteriorment a la Secció 4.6.1. i els objectius explicitats a la iniciativa. Malgrat això, a diferència de les altres iniciatives analitzades a la revisió sistemàtica de la literatura, en aquesta hem actuat com a dissenyadores i observadores participants de la seva implementació a l'aula (Cohen et al., 2018, p. 551).

En relació a l'anàlisi, per tal de caracteritzar el Projecte Atenció s'han aplicat les eines resultants dels subestudis previs publicats als articles presentats i que responen a les preguntes

de recerca P1.1., P1.2. i P1.3, i que no tornem a reproduir en aquesta secció per evitar la repetició.

#### *4.6.2.2. Aspectes ètics*

En relació amb els aspectes ètics, el Projecte Atenció va comptar amb l'aprovació del Comitè Ètic del Parc de Salut Mar Clinical Research (aprovació número: 2018/7968/I) i amb els consentiments informat dels i les representants legals de l'alumnat participant, que van ser entregats en mà al centre i retornats a l'Institut de Salut Global per garantir-ne la confidencialitat.

D'altra banda, tant el professorat responsable de cada centre, les direccions dels centres, així com les institucions de recerca ISGlobal i CRECIM, vam signar un document de compromís per tal de registrar a què ens comprometíem cadascun dels agents involucrats (p.ex., per part dels centres a participar en la recerca educativa facilitant la recollida de dades o, per part dels equips investigadors, a facilitar els materials educatius i fer un retorn dels resultats de la recerca).

El disseny del projecte, reflectit tant en els consentiments informats com en el document de compromís, va vetllar perquè la inversió entre el temps i esforç tant del professorat com l'alumnat destinat al projecte estigués balancejat amb el seu potencial guany, considerant així diferents aspectes de l'ètica individual de tots els participants (Ametller, 2020).

#### **4.6.3. Resultats del perfil i la qualitat del Projecte Atenció com una iniciativa de ciència ciutadana en context escolar**

Per tal de caracteritzar el perfil del Projecte Atenció, en primer lloc, hem utilitzat les tipologies d'iniciatives presentades a l'article "Citizen science in schools: A systematic literature review" recollit a la secció 4.3 d'aquesta tesi doctoral. Segons els resultats d'aquest estudi, per poder definir a quin perfil correspon el Projecte Atenció cal identificar quins són els objectius científics i educatius, quina és la contribució de la iniciativa a l'alumnat, quina és la contribució de l'alumnat a la iniciativa i quin són els recursos que s'ofereixen per tal de desenvolupar tant la missió científica com l'educativa.

En relació amb els objectius, el Projecte Atenció disposava tant d'objectius científics (estudiar la relació entre la contaminació de l'aire i l'atenció dels joves tenint en compte també altres

factors proposats per l'alumnat), així com objectius educatius, relacionats amb l'aprenentatge de l'alumnat sobre el model matèria, principalment.

De forma coherent amb els objectius proposats, la iniciativa pretenia contribuir a l'alumnat promovent aprenentatges relacionats amb com és la contaminació de l'aire, els efectes de la contaminació sobre la salut humana, el procés de dur a terme una recerca i possibles accions per mitigar els efectes de la contaminació atmosfèrica a les ciutats.

En relació amb els objectius científics, l'alumnat contribuïa a la iniciativa, en primer lloc, dissenyant un instrument de recollida de dades sobre els factors que creien que podien afectar els seus processos d'atenció. En segon lloc, l'alumnat va participar en la recollida de dades, contestant el propi formulari i també participant en els experiments sobre els nivells d'atenció i la diferència en la qualitat de l'aire.

Finalment, tal i com s'ha descrit a la secció anterior, alumnat i professorat disposaven de suport i recursos per assolir tant els objectius científics com els objectius educatius. Amb la combinació de l'anàlisi d'aquestes 4 dimensions hem pogut caracteritzar el perfil del Projecte Atenció com "Alumnat aprenent ciències fent de científiques". La representació d'aquest perfil es pot observar a la Figura 15.

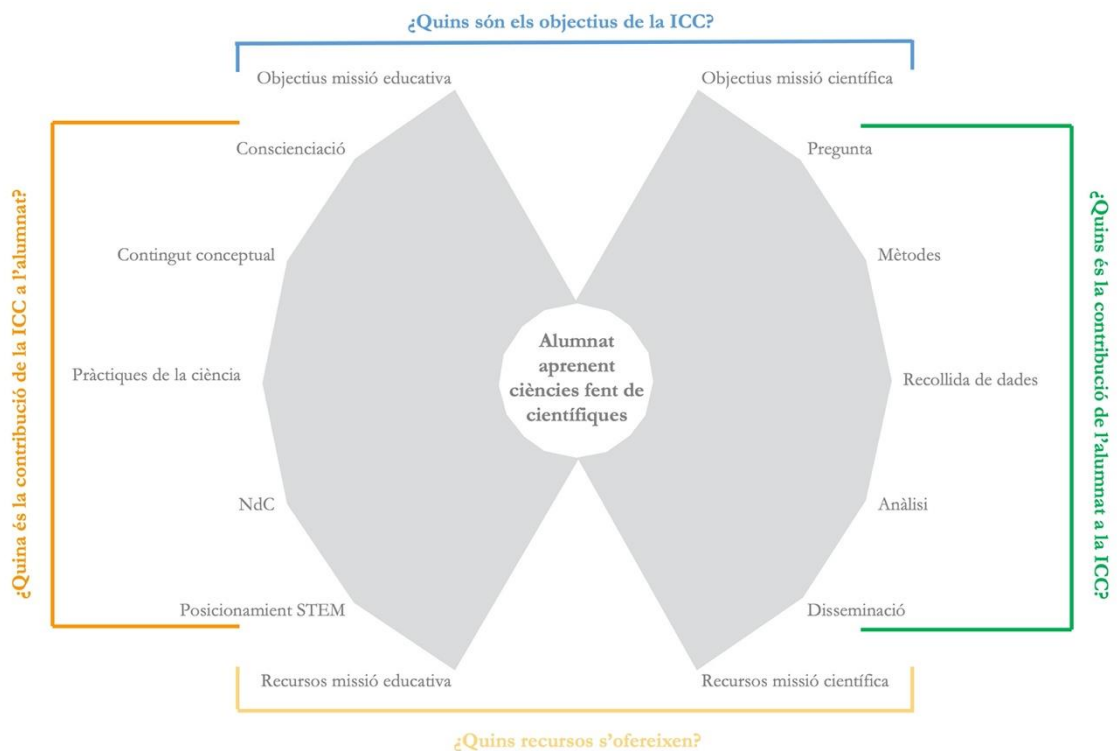


Figura 15. Esquema del perfil "Alumnat aprenent ciències fent de científiques" al que correspon el Projecte Atenció.

En segon lloc, per tal de determinar la qualitat del Projecte Atenció hem utilitzat l'eina presentada a l'article "¿Qué ciencia ciudadana se está haciendo en contexto escolar? Una herramienta para su evaluación" recollit a la secció 4.4 que, per cadascuna de les dimensions analitzades anteriorment, detalla una gradació en 4 nivells. A la Taula 1 trobem quin és el nivell assignat per cadascuna de les dimensions estudiades i quina és la justificació per tal d'assignar aquest nivell a la iniciativa.

Taula 1. Nivell assignat i la justificació del nivell per les dimensions claus de ciència ciutadana en context escolar pel cas del Projecte Atenció.

|  | Nivell assignat   | Justificació del nivell  |
|--|---|--|
| <b>Objectius relacionats amb la missió científica</b>                  | <b>N3:</b> L'objectiu de la ICC en relació amb la ciència és desenvolupar nou coneixement per a la comunitat científica professional on la ciència ciutadana es presenta com la opció més eficient.                   | La iniciativa disposava de dos objectius científics que buscaven desenvolupar nou coneixement científic (la relació entre la contaminació atmosfèrica i l'atenció en exposicions de curta durada i quins factors afecten a l'atenció dels i les adolescents). Per tal de respondre a aquests objectius, d'una banda era necessària la contribució d'alumnat per tal de participar a l'experiment de forma informada, i d'altra banda, per respondre al segon objectiu científic només es podia fer mitjançant la ciència ciutadana ja que requeria conèixer què en pensen els i les joves. |
| <b>Objectius relacionats amb la missió educativa</b>                   | <b>N3:</b> L'objectiu de la ICC està orientat a un aprenentatge científic rellevant per a la iniciativa, que té sentit curricular i orientat a l'acció personal i/o social.   | La iniciativa disposava d'objectius educatius que buscaven promoure idees profundes de ciències (sobre el model matèria i que comprèn idees curriculars) i sobre ciències en el context de la contaminació atmosfèrica a les ciutats, i dissenyar accions relacionades amb la millora de la qualitat de l'aire.  |
| <b>Contribució de l'alumnat a les iniciatives de ciència ciutadana</b> | <b>N2:</b> L'alumnat contribueix en més d'un aspecte de la ICC, normalment recollint dades però també ajudant a definir el problema, les estratègies de recollida de dades, l'anàlisi o la disseminació de resultats. | L'alumnat contribueix tant a la recollida de dades, participant en el qüestionari i en l'experiment, com en el disseny dels instruments de recollida de dades a través de la cocreació del qüestionari.  |
| <b>Contribució de la iniciativa de ciència ciutadana a l'alumnat</b>   | <b>N3:</b> Les activitats proposades per la ICC tenen poden contribuir al desenvolupament d'algun aspecte de la competència científica i la millora del posicionament STEM en profunditat.                            | Les activitats proposades a l'alumnat inclouen una SEA que contempla activitats basades en la modelització per aprendre sobre com és la contaminació de l'aire i activitats basades en la indagació per aprendre a dissenyar i dur a terme una recerca.  |
| <b>Recursos relacionats</b>  | <b>N3:</b> El suport facilitat promou la col·laboració entre l'equip científic i  | Els recursos oferts en relació amb la missió científica inclouen la col·laboració entre  |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <p><b>amb la missió científica</b></p>                     | <p>L'alumnat, s'ofereix formació al professorat i recursos.</p>  | <p>L'equip científic i l'alumnat (amb visites de l'equip científic per resoldre dubtes), s'ofereix formació al professorat (formació d'estiu amb sessions que aborden continguts científics sobre la recerca sobre contaminació) i recursos (protocols per a la creació de l'instrument de recollida de dades i articles divulgatius sobre el contingut científic).</p> |
| <p><b>Recursos relacionats amb la missió educativa</b></p> | <p><b>N3:</b> El suport facilitat promou la col·laboració entre l'equip científic i l'alumnat, s'ofereix formació al professorat i recursos.</p> | <p>Els recursos oferts en relació amb la missió educativa inclouen la col·laboració entre l'equip científic i l'alumnat (amb feedback de l'equip científic al congrés científic escolar), s'ofereix formació al professorat (formació d'estiu amb sessions sobre didàctica de les ciències) i recursos (materials educatiu en forma de SEA).</p>                        |

Finalment, podem representar les diferents dimensions del Projecte Atenció tenint en compte tant el perfil com la qualitat de cadascuna d'elles. Aquesta combinació ens permet d'una banda, identificar quin és el perfil de la iniciativa juntament amb quin és el nivell de cadascuna de les dimensions estudiades.

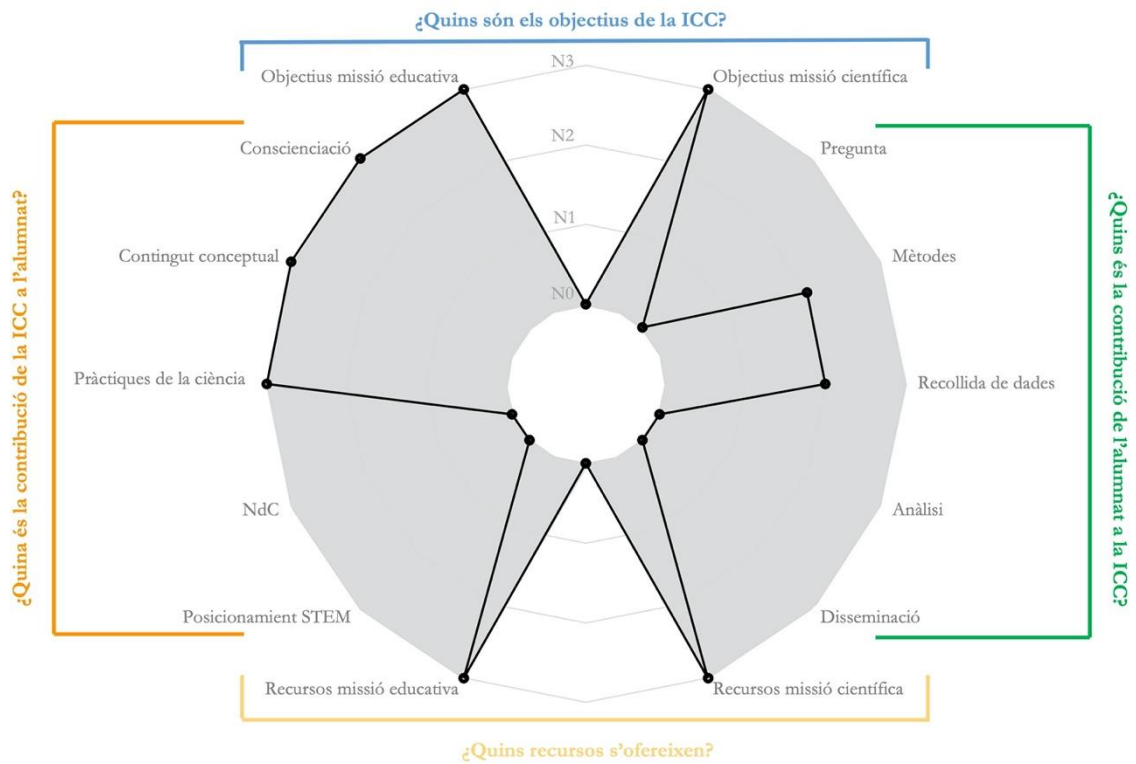


Figura 16. Representació del Projecte Atenció en relació amb les dimensions clau i els nivells de cadascuna de les dimensions.

#### 4.6.4. Article “¿Cómo afecta la contaminación del aire a nuestra salud?”

A continuació es troba una reproducció de l'article amb permís de l'editorial “¿Cómo afecta la contaminación del aire a nuestra salud?” publicat a la *Revista Alambique* de l'editorial Graó que recull una descripció de les dimensions i el perfil del Projecte Atenció.

UNA SOLA SALUD



# ¿Cómo afecta la contaminación del aire a nuestra salud?

**Caterina Solé i Martín**  
Universidad Autónoma de Barcelona

**En este artículo se presentan las actividades clave de un proyecto de ciencia ciudadana escolar sobre la contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud humana para 3.º de ESO. Mediante su descripción se pretende reflexionar sobre la necesidad de explorar estas ideas con el alumnado, así como sobre el hecho de involucrarse en una investigación científica real acerca de los efectos en la atención de las partículas contaminantes en suspensión en el aire.**

**PALABRAS CLAVE**

- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
- SALUD HUMANA Y AMBIENTAL
- CIENCIA CIUDADANA



Numerosas investigaciones muestran que la contaminación atmosférica tiene efectos directos, no solo sobre el medioambiente, sino también sobre la salud de las personas (Basagaña, 2018). Esta interdependencia del medioambiente y la salud está en consonancia con la perspectiva de «Una sola salud», y hace de la contaminación atmosférica una problemática idónea para trabajar con nuestro alumnado de 3.º de ESO bajo este marco.

A menudo, cuando preguntamos al alumnado sobre la contaminación atmosférica, este lo relaciona con las fuentes de contaminación, pero sin preguntarse por los mecanismos (por ejemplo, cómo pueden estar en suspensión las partículas contaminantes del aire) o los posibles efectos sobre la salud de las personas (por ejemplo,

## El alumnado participó en una investigación científica real sobre la relación entre la contaminación atmosférica y la capacidad de atención de las personas

efectos más allá de los conocidos efectos respiratorios), aspectos clave para la búsqueda de soluciones. En este contexto, presentamos el Proyecto Atención, desarrollado durante el curso 2018-2019 con alumnado de secundaria de treinta institutos del área metropolitana de Barcelona. El alumnado participó en una investigación científica real (ciencia ciudadana escolar) sobre la relación entre la contaminación atmosférica causada por las partículas sólidas en suspensión (PM, del

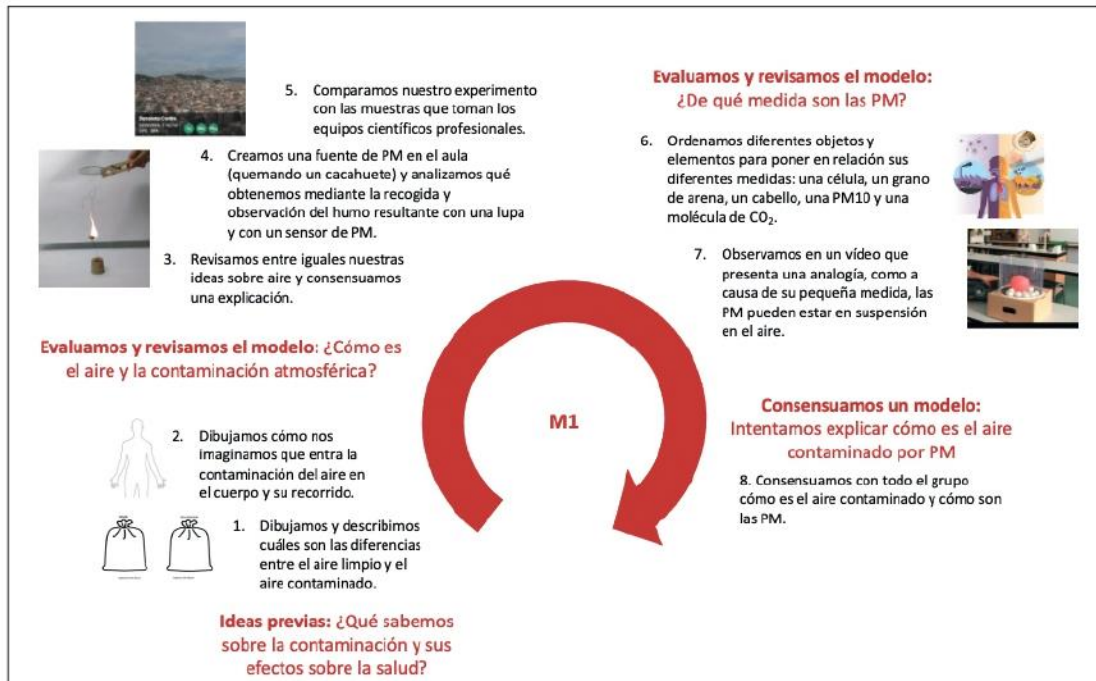


Imagen 1. Secuencia de actividades del Módulo 1 que tiene por objetivo comprender qué es la contaminación atmosférica causada por las PM



acrónimo en inglés) y la capacidad de atención de las personas. A continuación, se describen los momentos clave del proyecto que relacionan la contaminación atmosférica con la salud humana.

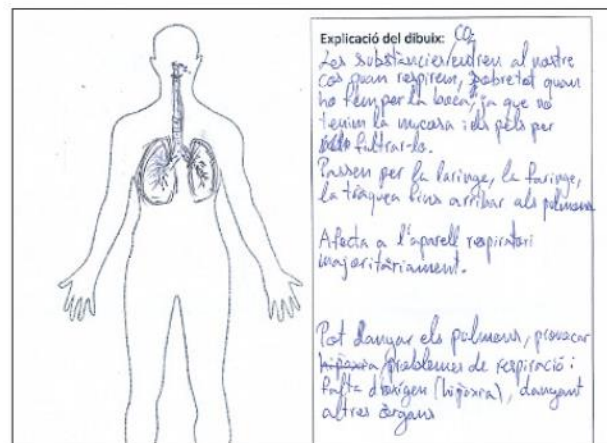
## ENTENDEMOS QUÉ Y CÓMO ES LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El proyecto constaba de tres módulos que tenían por objetivo profundizar en qué y cómo se comporta la contaminación atmosférica (M1), los efectos de la contaminación en la salud humana (M2) y la participación en un experimento científico real y una indagación escolar (M3).

Después de presentar el problema de la contaminación atmosférica mediante un vídeo del equipo científico, el primer módulo de actividades (M1) tenía como fin construir y sofisticar ideas relativas a cómo es el aire y la contaminación atmosférica, en especial aquella causada por las PM. Las PM son partículas sólidas en un rango de medida entre  $10^{-7}$  m y  $10^{-5}$  m que nos permiten profundizar con nuestro alumnado sobre el modelo de estructura de la materia en la mesoescala (se puede encontrar la discusión en profundidad en Solé, Tena y Couso, 2020). Desde la perspectiva de la salud, entender la medida de estas partículas es necesario para comprender qué recorrido pueden hacer dentro del cuerpo humano, y, en consecuencia, qué afectaciones pueden conllevar. La imagen 1 muestra las principales actividades de este módulo secuenciadas de acuerdo a un ciclo que promueve la modelización (Couso, 2020).

## EXPLORAMOS LA RELACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN Y SALUD

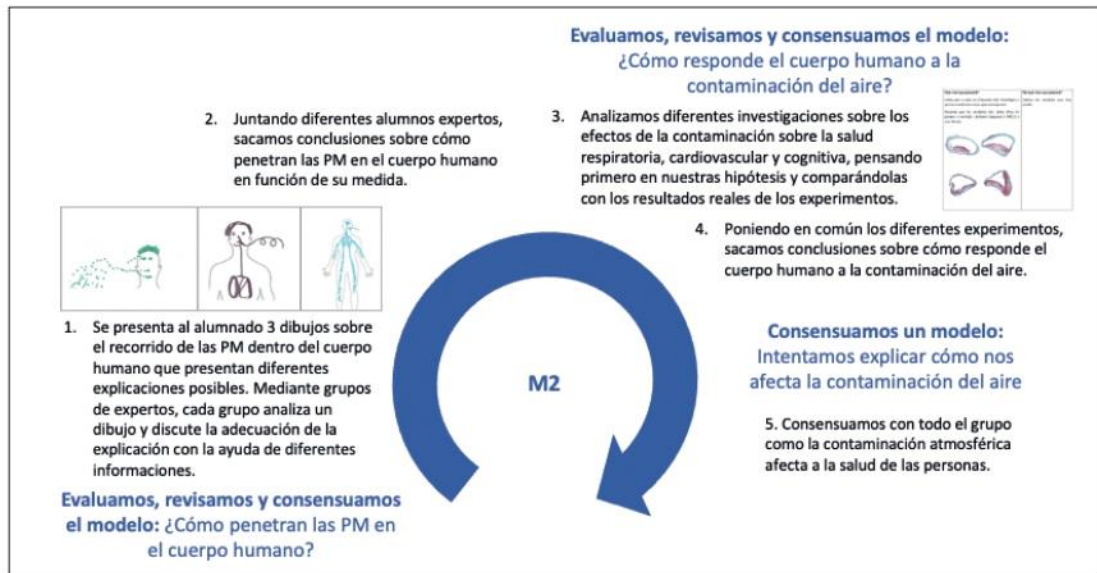
El segundo módulo de actividades tenía por finalidad profundizar en cuáles son los efectos de la



**Imagen 2.** Ejemplo de respuesta de un alumno a la actividad de ideas previas sobre los efectos de la contaminación sobre la salud de las personas

contaminación atmosférica en la salud, incidiendo en la idea del cuerpo humano como un único sistema. Es común relacionar la contaminación atmosférica con sus posibles efectos sobre la salud respiratoria, como muestra la explicación de un alumno en la imagen 2. Sin embargo, cada vez hay más estudios que apuntan a otros posibles efectos, entre otros sobre la cognición (Basagaña, 2018).

Para poder entender cómo pueden llegar las PM no solo al sistema respiratorio, sino también a otras partes del cuerpo, tenemos que imaginar el cuerpo humano como si fuera un embudo con diferentes barreras. A menor tamaño de PM, estas conseguirán traspasar un mayor número de barreras. Por ejemplo, al respirar las PM<sub>10</sub> (PM con un diámetro de entre 10 ( $\mu$ m) y 2,5 ( $\mu$ m)), estas quedarán retenidas en las mucosas nasales. Mientras que las PM<sub>0,1</sub> (PM con un diámetro menor a 0,1 ( $\mu$ m)) atravesarán los pulmones, llegando a la circulación sanguínea. Con este objetivo, planteamos las actividades del M2 de la imagen 3.



**Imagen 3.** Secuencia de actividades del Módulo 2 que tiene por objetivo comprender cuáles son los efectos de la contaminación sobre la salud de las personas

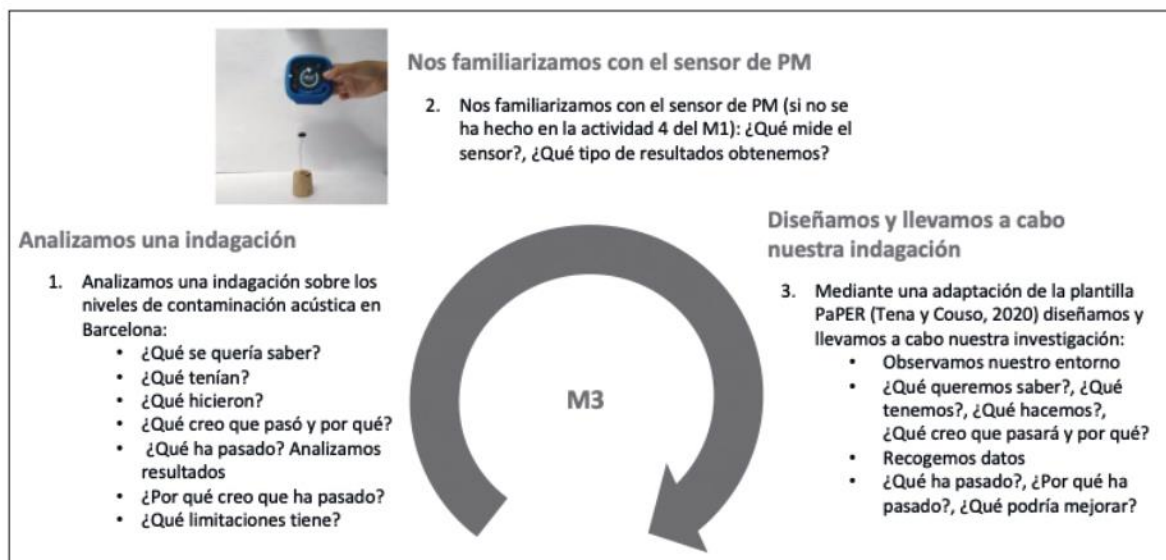
## UNA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA REAL SOBRE LA CONTAMINACIÓN Y LA ATENCIÓN

Después de profundizar en cómo son las PM y sus efectos, el alumnado participó en una investigación científica real, bajo el paradigma de la ciencia ciudadana, sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la capacidad de atención, liderada por el centro de investigación en salud global ISGlobal. El alumnado se involucró en diferentes fases de la investigación, diseñando un instrumento de recogida de datos sobre los factores que podían afectar a su atención (Gignac et al., 2021) y en un experimento para medir su nivel de atención junto con el nivel de contaminación atmosférica en el aula (aquí se puede encontrar en qué consistió: [www.isglobal.org/ca/-/proyecto-atencio](http://www.isglobal.org/ca/-/proyecto-atencio)). Además, el alumnado diseñó y llevó a cabo una indagación escolar sobre los niveles de contaminación atmosférica

en su centro usando sensores de PM. La secuencia de actividades se detalla en la imagen 4.

Los resultados preliminares del experimento de ciencia ciudadana y de las indagaciones del alumnado se presentaron en un congreso científico escolar con los institutos participantes. En el congreso el alumnado mostró una gran expectación por saber los resultados del experimento (se pueden consultar en <https://sites.google.com/view/proyecteatencio/informes-de-resultats>) y compartir sus investigaciones con los otros institutos e investigadores.

■  
**El alumnado diseñó un instrumento de recogida de datos sobre los factores que podían afectar a su atención**



**Imagen 4.** Secuencia de actividades del Módulo 3 que tiene por objetivo que el alumnado diseñe su propia indagación sobre la contaminación atmosférica en el instituto

Las investigaciones escolares presentadas mostraban los resultados de comparar los niveles de contaminación por PM en diferentes localizaciones del instituto o en diferentes horas, entre otros. Así, por ejemplo, observaron que las aulas de los pisos superiores de un instituto del centro de Barcelona estaban menos contaminadas que las inferiores, o que a la hora de entrada los niveles de contaminación por PM eran mucho más elevados que al mediodía. Además de los resultados de las investigaciones, el alumnado también presentó numerosas campañas de comunicación llevadas a cabo en sus centros para mostrar que la contaminación atmosférica es un problema en los institutos sobre el que todavía podemos ¡y debemos! actuar. ◀

### Notas

\* AGRADECIMIENTOS: Trabajo realizado dentro del programa de Doctorado en Educación de la UAB con el

apoyo de la Dra. Digna Couso y la Dra. María Isabel Hernández, financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (PGC2018-096581-B-C21) y el contrato predoctoral (PRE2019-087419). El Proyecto Atenció fue financiado por RecerCaixa, impulsado por la Caixa con colaboración de la ACUP (2017ACUP00274).

\*\* El material completo del proyecto junto con la guía docente se pueden consultar en: <https://ddd.uab.cat/record/201543?ln=ca>

### Referencias bibliográficas

Basagaña, Basagaña, X. (2018). Els efectes de la contaminació en les persones: què en sabem i de què busquem evidències? *Ciències*, (35), 28-34 X. (2018). Els efectes de la contaminació en les persones: què en sabem i de què busquem evidències? *Ciències*, (35), 28-34.

Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenó-

UNA SOLA SALUD

menos. En D. Couso et al. (eds.), *Enseñando Ciencia con Ciencia* (pp. 63-74). Penguin Random House.

Gignac, F. et al. (2021). Identifying factors influencing attention in adolescents with a co-created questionnaire: A citizen science approach with secondary students in Barcelona, Spain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(15), 1-19.

Solé, C., Tena, È. y Couso, D. (2020). ¿Qué modelo de materia explica la contaminación? Explorando el modelo corpuscular en la mesoescala. *Alambique*.

*Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (101), 30-36.

**Dirección de contacto**

**Caterina Solé i Martín**  
 Universidad Autónoma de Barcelona  
 caterina.sole@uab.cat

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES en octubre de 2022 y aceptado en febrero de 2023 para su publicación.

## Mueve la lengua, que el cerebro te seguirá

75 acciones lingüísticas para enseñar a pensar ciencias

**Jordi Domènech Casal**

El libro presenta una gran variedad de experiencias que se analizan desde distintos marcos de la filosofía del lenguaje y la didáctica de las ciencias, y se proponen 41 apoyos didácticos lingüísticos listos para enriquecer el diseño de actividades de aula. Además, en cada capítulo, se expone una situación y se propone al lector «mirar» esa situación desde la simetría entre ciencia y lenguaje.

Se mantiene una doble mirada hacia la ciencia y el lenguaje, ofreciendo actividades para secundaria de trabajo integrado de las dos áreas que fomentan la reflexión, la argumentación y el desarrollo del espíritu crítico.

Mueve la lengua,  
que el cerebro te seguirá

75 acciones lingüísticas para enseñar a pensar ciencias

Jordi Domènech Casal

5% descuento en todos nuestros libros

Hurtado, 29. 08022 Barcelona

info@irif.eu

www.grao.com

934 080 464

#### 4.6.5. Avaluació de la qualitat científica i la qualitat educativa del Projecte Atenció

Als apartats anteriors hem caracteritzat el Projecte Atenció com una iniciativa de ciència ciutadana en context escolar en base als objectius científics i els objectius educatius i les accions proposades per assolir-los. Ara, l'objectiu d'aquesta secció és aportar evidències de la qualitat científica i la qualitat educativa dels resultats de la implementació del Projecte Atenció.

##### 4.6.5.1. Avaluació de la qualitat científica del Projecte Atenció

Una de les estratègies que utilitza la comunitat científica per avaluar la qualitat d'una recerca és la publicació d'articles que han estat avaluats i revisats per dues persones expertes en aquella àrea de coneixement, i que són les encarregades d'avaluar si aquella recerca s'ha dut a terme de forma vàlida i fiable (Gott et al., 2003). Així, els objectius científics del Projecte Atenció s'han assolit mitjançant la publicació d'un article de recerca per cadascun dels objectius.

En primer lloc, en relació amb l'objectiu “1) Estudiar la relació entre els nivells de contaminació de l'aire causada per partícules sòlides en suspensió (PM de l'acrònim en anglès *Particulate Matter*) i els canvis a curt termini del processos d'atenció dels i les adolescents”, s'ha publicat l'article titulat “Short-term effect of air pollution on attention function in adolescents (ATENCIÓ): A randomized controlled trial in high schools in Barcelona, Spain” per Gignac i altres (2021). En aquest article es reporten els resultats obtinguts a partir de la recollida de dades duta a terme amb l'alumnat de tots els instituts participants.

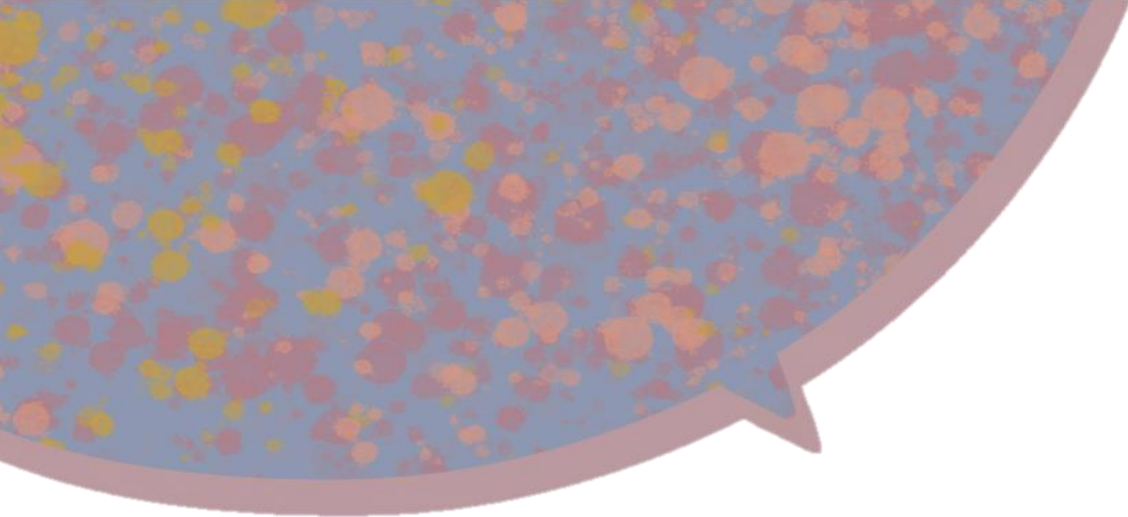
En relació amb l'objectiu “2) Estudiar quins factors proposats pels propis adolescents poden afectar als processos d'atenció” s'ha publicat l'article titulat “Identifying factors influencing attention in adolescents with a co-created questionnaire: a citizen science approach with secondary students in Barcelona, Spain” per Gignac, Solé i altres (2021). En aquest article es reporta el procés de cocreació del qüestionari amb l'alumnat, així com els resultats de la recerca sobre quins dels factors proposats per l'alumnat tenen una influència en l'atenció.

##### 4.6.5.2. Avaluació de la qualitat educativa del Projecte Atenció

Tal i com s'ha reflectit al marc teòric d'aquesta tesi, molts autors han reflexionat, han proposat i han investigat sobre què vol dir qualitat educativa, i especialment, sobre com avaluar la qualitat educativa de seqüències d'ensenyament-aprenentatge (Guisasola et al., 2017; Hernández & Pintó, 2016; Tena & Couso, 2023). Per tal de parlar de la qualitat

educativa no ens servirà només, per exemple, amb la percepció de l'aprenentatge de l'alumnat o els docents, o no hauríem de parlar de qualitat educativa d'una proposta si aquesta no s'ha avaluat amb un mínim de profunditat (Tena & Couso, 2023). Així, amb l'objectiu de poder avaluar la qualitat educativa del Projecte Atenció de forma sistemàtica i rigorosa, s'ha dut a terme l'Estudi 2 d'aquesta tesi i que es presenta a continuació.





**ESTUDI 2. Disseny i avaluació d'una  
seqüència didàctica per a l'aprenentatge del  
model matèria a secundària**



## 5. ESTUDI 2. Disseny i avaluació d'una SEA per a l'aprenentatge del model matèria

### 5.1. Introducció a l'Estudi 2

En aquest estudi es dona resposta a l'Objectiu 2 que busca analitzar la qualitat, en termes de la millora de les idees de l'alumnat sobre el model matèria, d'una seqüència d'ensenyament-aprenentatge sobre la problemàtica de la contaminació atmosfèrica dissenyada per a alumnat de 3r d'ESO (14-15 anys), que es va implementar en el context del Projecte Atenció.

Per assolir aquest objectiu, en primer lloc en aquest estudi abordarem la P2.1 que busca identificar quins són els principis, elements i eines utilitzats per al disseny de la seqüència d'ensenyament-aprenentatge. D'aquest subestudi es deriva l'article “¿Qué modelo de materia explica la contaminación? Explorando el modelo corpuscular en la mesoescala” publicat a la revista *Alambique* que recull part del procés de reconstrucció educativa seguit per a la fonamentació inicial de la SEA, així com la proposta final.

En segon lloc, per tal d'avaluar la qualitat de la seqüència d'ensenyament-aprenentatge donant resposta a la pregunta P2.2, en aquesta tesi utilitzarem el marc proposat per Tena i Couso (2023). Aquestes autores proposen un marc operatiu per avaluar la validesa, la utilitat i la confiabilitat de SEAs a partir de les relacions entre els elements i les pràctiques que conformen el propi disseny, la implementació i els resultats i productes de la recerca. En aquest subestudi ens centrarem en l'avaluació de l'Eficàcia de nivell 2, és a dir, la relació entre els objectius d'aprenentatge (el que s'espera que l'alumnat aprengui) i els resultats d'aprenentatge (les proves que tenim que evidencien què ha après l'alumnat) i, concretament, en els objectius i resultats d'aprenentatge relacionats amb el model matèria. Els resultats d'aquest subestudi es troben publicats a l'article “Revisiting how secondary students understand air pollution. The challenge of particulate matter”.

Si bé és cert que la SEA contemplava altres objectius relacionats amb l'aprenentatge de la salut humana i la indagació, en aquest estudi ens hem centrat únicament en els objectius relacionats amb la construcció d'idees clau del model matèria a la mesoescala, ja que el fenomen de la contaminació atmosfèrica causada per les PM ens ofería un context idoni per treballar aquestes idees en profunditat.

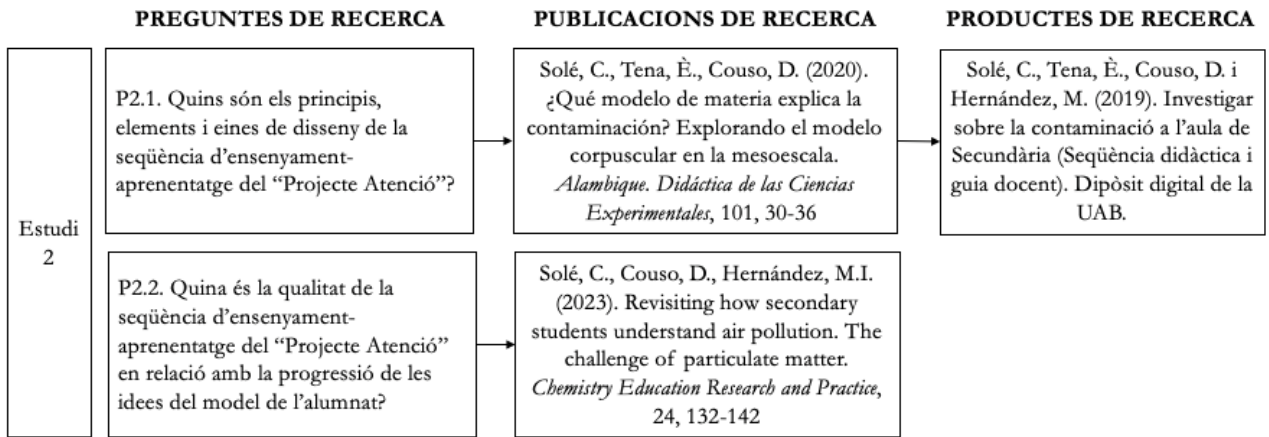


Figura 17. Esquema de les preguntes i publicacions que donen resposta a l'Estudi 2.

## 5.2. Identificació dels principis, elements i eines de disseny

### 5.2.1. Fonamentació inicial del disseny de la SEA

Tal i com hem discutit al marc teòric, per al disseny d'una SEA podem descriure principis, elements i eines de disseny, en funció del seu grau de concreció, en relació amb la seva dimensió epistemològica, conceptual, contextual, psicològica, didàctica, emocional o ideològica (Jiménez-Liso et al., 2023) que recullen les visions epistemològiques de les persones que dissenyen sobre el propi coneixement científic i l'ensenyament-aprenentatge de les ciències (Hernández & Pintó, 2016; Kali et al., 2009). Tot i que compartim aquesta proposta, en la seva aplicació hem tingut en compte algunes consideracions que descrivim a continuació.

Jiménez-Liso i col·legues (2023) defineixen la dimensió epistemològica com aquella relacionada amb com es concep el coneixement i les seves formes de validar-se, fent referència a la naturalesa del coneixement científic. En la nostra proposta, en la definició dels principis, elements i eines de disseny en aquesta dimensió també incloem qüestions relacionades amb la competència epistèmica de l'alumnat (Chinn et al., 2014) i que tinguin per objectiu promoure que l'alumnat generi el seu propi coneixement de forma anàloga a com ho fa la ciència. En conseqüència, hem anomenat aquesta dimensió com epistemològica/epistèmica.

En relació amb la dimensió contextual, les autores inclouen dins d'aquesta dimensió tant el context d'aplicació de la SEA (p. ex. les característiques del centre i de l'alumnat), com aspectes relacionats amb la rellevància o proximitat a la quotidianitat de l'alumnat i aspectes del materialisme-dialògic dels objectes materials que s'utilitzen a l'aula. En el nostre cas, en aquesta dimensió també trobem necessari entendre el context no només segons la rellevància per l'alumnat sinó també com el fenomen sobre el que volem centrar el procés d'ensenyament-aprenentatge (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003). En conseqüència, hem anomenat aquesta dimensió com contextual/fenomenològica.

Per tal de concretar alguns d'aquests principis, elements i eines de disseny, estem d'acord en que cal una anàlisi epistemològica del contingut curricular (Guisasola et al., 2021). Per a fer-ho, hem seguit el Model de Reconstrucció Educativa (Duit et al., 2005), ja que incorpora tant la necessitat de l'anàlisi del contingut com la teoria constructivista de l'aprenentatge i la inclusió de la recerca sobre ensenyament-aprenentatge en relació també amb les variables afectives (Duit et al., 2012):

- Anàlisi de l'estructura del contingut: En un primer estadi es va fer una clarificació conceptual del fenomen de la contaminació atmosfèrica causada per les PM amb l'ajuda de diferents articles de recerca i divulgació en l'àmbit i reunions amb l'equip científic en epidemiologia ambiental. En un segon moment es va analitzar el significat educatiu, buscant la relació entre aquelles idees sobre la contaminació atmosfèrica que ens permetien entendre aquest fenomen connectant amb algun dels grans models de la ciència, en aquest cas, el model d'estructura de la matèria. A més a més, a partir de l'anàlisi del currículum vigent es van seleccionar quines d'aquestes idees eren rellevants curricularment per al nivell de 3r d'ESO.
- Revisió de literatura prèvia: Paral·lelament, es va fer una revisió de recerques prèvies en didàctica de les ciències experimentals sobre les idees de l'alumnat de diferents nivells educatius sobre el model d'estructura de la matèria i les idees relacionades amb els canvis d'escala. A més a més, també s'ha fet una revisió de recerques prèvies de les idees de l'alumnat en relació amb la contaminació de l'aire i sobre experiències d'aula que treballin aquest fenomen. D'altra banda, també s'han revisat SEAs prèvies que abordessin algun d'aquests aspectes i que investiguessin sobre ells.
- Recerca preliminar: Es van analitzar preliminarment de forma no sistemàtica les representacions de l'alumnat d'un grup-classe sobre l'aire net i l'aire contaminat.

A la Taula 1 s'han recollit els principis, elements i eines de disseny que han guiat el disseny i desenvolupament de la SEA.

Taula 2. Resum dels principis, elements i eines de disseny per al disseny de la SEA sobre el fenomen de la contaminació atmosfèrica per a 3r d'ESO.

|                             | <b>Epistemològics/<br/>epistèmics</b>  | <b>Conceptuals</b>   | <b>Contextuals/<br/>Fenomenològica</b>  | <b>Psicològics</b>   | <b>Didàctics</b>  | <b>Emocionals</b>   | <b>Ideològics</b>  |
|-----------------------------|--|--|---|--|---|---|--|
| <b>Principis de disseny</b> | Els models científics són objectes epistèmic, és a dir, eines per pensar i actuar sobre els fenòmens. (Couso & Garrido-Espeja, 2017; Knuuttila, 2021)  | El contingut conceptual a construir en una SEA s'ha de vincular a una gran o central idea de la ciència (Harlen, 2010; NRC, 2012) a través de la definició d'un Model Científic Escolar (Garrido Espeja, 2016; Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003). | Els contextos de la SEA han de ser científicament, socialment i personalment rellevant (Jiménez-Liso et al., 2021; Sanmartí & Márquez, 2017). | Les idees de l'alumnat són el punt de partida del seus aprenentatges (Ausubel et al., 1978) i aquestes milloren gracies a la interacció social (Vygotsky, 1978). | Aprendre ciències és involucrar-se i participar en les pràctiques de la ciència (Berland et al., 2016; Osborne, 2014) | La part afectiva i emocional afecta a l'aprenentatge de les ciències (Martínez-Chico et al., 2017)  | Saber de i sobre ciències és condició necessària tot i que no suficient per a l'actuació ciutadana responsable (Couso & Puig, 2021; Domènech-Casal, 2018). |
| <b>Elements de disseny</b>  | Promoure l'explicitació dels models mentals de l'alumnat en diferents moments i formats que els ajudin a prendre decisions sobre la recerca que faran. | Clarificació de les idees clau del model d'estructura de la matèria en relació amb les diferents escales de la matèria.  | Context de la contaminació atmosfèrica com un problema científicament, socialment i personalment rellevant.                                   |  | Enfoc d'ensenyament-aprenentatge basat en la modelització (Couso & Garrido-Espeja, 2017).                             | Emocions que pot sentir l'alumnat vers la problemàtica de la contaminació atmosfèrica.  | Ús dels coneixements per idear solucions en relació amb la contaminació de l'aire.   |
| <b>Eines de disseny</b>     | Proposta perquè l'alumnat expressi les seves idees en termes de les seves representacions macro i micro per ajudar-los a pensar sobre el fenomen.      | Seqüenciació de les idees al llarg de la SEA, de les més properes a l'alumnat a les més properes al MCE.   | Identificació d'un fenomen concret, en el context de la contaminació atmosfèrica, com és la combustió d'un objecte per a la mesura de les PM. | Taula amb les idees alternatives més comunes en relació amb l'aire, la contaminació atmosfèrica i el model matèria de l'alumnat reportades a la literatura.      | Cicle de modelització aplicat a la seqüenciació de les activitats.  | Previsió d'activitats que fomentin la cerca de solucions a la problemàtica de la contaminació de l'aire, més enllà de la concepció del fenomen i la diagnosi. | Taula amb diferents propostes d'actuació més rellevants relacionades amb les idees clau treballades a la SEA.  |

L'aplicació del Model de Reconstrucció Educativa, també ens ha portat, entre d'altres, a definir quines són les idees clau que es voldran treballar a la SEA en relació amb el model matèria aplicat al fenomen de la contaminació atmosfèrica, que corresponen a l'eina de disseny de la dimensió conceptual. A la Taula 3 es presenten les idees clau que es volen construir amb l'alumnat al llarg de la implementació de la SEA.

Taula 3. Idees clau que es volen treballar a la SEA en relació amb el model matèria aplicat al fenomen de la contaminació atmosfèrica.

|  |
|--|
| <b>Idea 1.</b> L'aire net és una mescla homogènia de gasos, que alhora estan formats per diferents molècules, com el N <sub>2</sub> , l'O <sub>2</sub> o el CO <sub>2</sub> .  |
| <b>Idea 2.</b> Considerem que l'aire està contaminat si hi ha elements que no es troben en la seva composició habitual o si aquells que sí que en formen part es troben amb major concentració.  |
| <b>Idea 2.1</b> A l'aire pot haver-hi matèria particulada en estat sòlid (PM) que esdevé un contaminant atmosfèric.  |
| <b>Idea 2.2</b> A l'aire poden haver-hi gasos com el NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , o O <sub>3</sub> que són considerats contaminants atmosfèrics.  |
| <b>Idea 2.3</b> El CO <sub>2</sub> no es considera contaminant atmosfèric ja que no té efectes directes sobre la salut dels humans, animals, vegetals o materials. El CO <sub>2</sub> sí que contribueix a l'escalfament global del planeta.               |
| <b>Idea 3.</b> Les PM són partícules amb una mida entre 10 <sup>-5</sup> i 10 <sup>-7</sup> m en suspensió a l'aire, i per tant, la contaminació atmosfèrica per PM és un fenomen que ocorre a la mesoescala i que té conseqüències sobre la nostra salut. |
| <b>Idea 3.1</b> Les PM es poden trobar en suspensió a l'aire, ja que, degut a la seva mida xoquen amb les molècules que formen els gasos presents a l'aire i les mantenen en suspensió.  |
| <b>Idea 3.2</b> Les PM provoquen problemes sobre la salut de les persones, ja que, degut a la seva mida poden penetrar dins del cos. Com més petites són les PM, més penetren dins del cos humà.   |

### 5.2.2. Article “¿Qué modelo de materia explica la contaminación? Explorando el modelo corpuscular en la mesoescala”

A continuació es troba una reproducció de l'article amb el permís de l'editorial “¿Qué modelo de materia explica la contaminación? Explorando el modelo corpuscular en la mesoescala” publicat a la revista *Alambique* del'editorial Graó que recull un resum de l'aplicació del Model de Reconstrucció Educativa, i per tant, recull aspectes de la anàlisi de l'estructura del contingut, de la revisió de literatura prèvia, i de la recerca preliminar, així com l'explicació de la SEA.

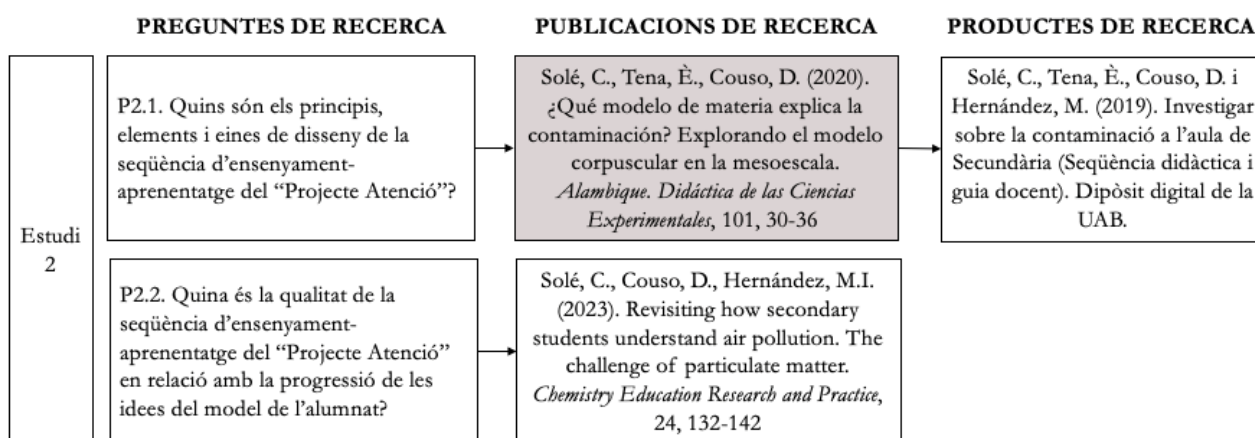


Figura 18. Esquema de l'Estudi 2 on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i els altres articles que conformen aquest estudi.



SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y GASES

# ¿Qué modelo de materia explica la contaminación?

## Explorando el modelo corpuscular en la mesoescala

**Caterina Solé, Èlia Tena, Digna Couso**  
Universidad Autónoma de Barcelona

Quando usamos el modelo corpuscular para interpretar la estructura de la materia a menudo hablamos de partículas sin explicitar a qué escala nos estamos refiriendo: ¿trozos de materia o moléculas? En esta propuesta presentamos una secuencia didáctica en el contexto de la contaminación atmosférica como una oportunidad para identificar las dificultades del alumnado a la hora de interpretar la escala de los fenómenos y tratar, así, de superarlas.

Licència para AUTONOMA BARCELONA, UNIVERSITAT



### PALABRAS CLAVE

- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
- MESOESCALA
- MODELIZACIÓN
- PARTÍCULAS



Èlia Ivanescu en Unsplash



Dado su importante efecto en nuestra salud, la contaminación atmosférica en las ciudades es uno de los temas científicos que más se discuten en la actualidad (Basagaña, 2018). **Hablar sobre contaminación del aire con nuestro alumnado nos permite discutir sobre una problemática medioambiental socialmente relevante.** Sin embargo, comprender realmente qué es la contaminación y cuál es su comportamiento, así como pensar en actuaciones plausibles para minimizar nuestra exposición a la misma, implica explorar con los alumnos y alumnas las limitaciones y/o potencialidades del modelo corpuscular de la materia en diferentes escalas.

### EL MODELO DE LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA: ENTRE LA MACROESCALA Y LA SUB-MICROESCALA

La interpretación de la estructura de la materia desde un modelo corpuscular o «de partículas» es una de las ideas centrales de la ciencia escolar (Harlen, 2010). El motivo es doble. Por un lado, el hecho de que el alumnado tiene modelos intuitivos sobre la estructura de la materia que difieren enormemente de la visión corpuscular consensuada. Por otro, la gran relevancia de un modelo corpuscular tanto para interpretar numerosos fenómenos cotidianos como para construir otros modelos científicos clave para comprender el mundo. Así, no es de extrañar que la forma de modelizar la estructura de la materia sea uno de los temas más investigados en didáctica de las ciencias y sobre el que encontramos un mayor número de propuestas educativas (Talanquer, 2009).

Una de las dificultades del modelo corpuscular o de partículas de la materia es precisamente el uso polisémico del término «partícula». En las propuestas de aula, partícula se asimila tanto a

moléculas o átomos (por ejemplo, las partículas que forman los gases) como a una porción muy pequeña de algo (por ejemplo, una partícula de polvo).

En secundaria, a menudo las propuestas de modelización de la estructura de la materia se centran en la construcción con el alumnado de la relación entre las propiedades de la materia en la macroescala y su estructura interna en la sub-microescala, por ejemplo, interpretando el aumento de temperatura (macroescala) con un aumento del movimiento de las partículas (sub-microescala). No obstante, esto se hace sin especificar que en este caso entendemos partículas como átomos y moléculas, y que por lo tanto estamos hablando de la estructura interna de la materia y de la sub-microescala.

A pesar de que la mayoría de propuestas solo tratan de esta relación entre macroescala y sub-microescala, encontramos fenómenos de gran relevancia que ocurren entre una y otra –entre  $10^{-1}$  y  $10^{-9}$  m– y que necesitan unas reglas de juego propias. Con el objetivo de unificar términos científicos y no complicar más la discusión, nos referiremos a partir de ahora a este rango de medidas como mesoescala (Meijer, Bulte y Pilot, 2013).

Así, no solo son pocas las propuestas didácticas que abordan fenómenos en la mesoescala, sino que cuando se hace no se explicita que en esta escala intermedia el término «partículas» no corresponde a átomos y moléculas sino a porciones muy pequeñas de materia. Esto contrasta con la importancia que la investigación en didáctica ha otorgado a los fenómenos que se dan en la mesoescala, como por ejemplo la contaminación atmosférica.

## LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA COMO MARCO PARA EXPLORAR LOS LÍMITES DEL MODELO CORPUSCULAR CLÁSICO

El caso de la contaminación del aire, en concreto la polución causada por partículas sólidas en suspensión en la atmósfera (conocidas como PM, del inglés *particulate matter*), es especialmente interesante para trabajar los límites del modelo corpuscular clásico de la materia. Comprender qué son y cómo se comportan las PM implica centrar la mirada en un fenómeno que sucede en la mesoescala. Específicamente, en un rango máximo de medida comprendido entre  $10^{-7}$  m ( $0,1 \mu\text{m}$ ) y  $10^{-5}$  m ( $10 \mu\text{m}$ ). Esto incluye partículas de medida  $0,1 \mu\text{m}$  (PM<sub>0.1</sub>: por ejemplo, partículas que provienen de la combustión),  $2,5 \mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>: por ejemplo, partículas que provienen del rozamiento de los neumáticos de los vehículos con el asfaltado de la carretera) y  $10 \mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>: por ejemplo, partículas de polvo).

Además, trabajar la contaminación atmosférica en términos de partículas contaminantes en suspensión nos permite profundizar con nuestro alumnado en la polisemia del término «partícula» comentada con anterioridad. Así, podremos establecer la diferencia entre hablar sobre las partículas que forman la estructura de la materia del aire (sub-microescala) o sobre las partículas contaminantes en suspensión (mesoescala), entendidas estas como trozos muy pequeños de materia en estado sólido o líquido.

■

**En las propuestas de aula, partícula se asimila tanto a moléculas o átomos como a una porción muy pequeña de algo**

Ambas clases de partículas tampoco tienen el mismo tipo de dinámica. Mientras que a este nivel podemos entender el comportamiento de los átomos y moléculas desde la teoría cinético-corpúscular, para comprender el de las PM necesitamos hablar del movimiento browniano de las partículas.

## ¿CÓMO SE REFLEJA ESTA COMPLEJIDAD EN LAS IDEAS QUE TIENE EL ALUMNADO SOBRE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA?


En el contexto de la ciencia ciudadana escolar, en *Projecte Atenció* hemos diseñado una secuencia didáctica sobre contaminación del aire para alumnado de tercero de ESO (14-15 años) desde la perspectiva de las prácticas científicas (Osborne, 2014).

En esta propuesta, después de presentar la contaminación atmosférica a partir de una noticia en la que se presentan nuevas evidencias acerca de la relación entre contaminación y salud, **se pide al alumnado que dibuje cómo se imaginan el aire no contaminado (aire limpio) y el aire contaminado, tanto a simple vista (macroescala) como «por dentro»** (sin especificar la escala con el objetivo de identificar diferentes representaciones).

Analizando estos dibujos y explicaciones podemos observar diferentes representaciones en función de qué escalas usan para referirse a los componentes del aire y la contaminación. En el cuadro 1 se muestra una clasificación de los distintos tipos de representaciones junto con ejemplos paradigmáticos de las explicaciones escritas del alumnado, que se han traducido al castellano. Para este análisis, no tenemos en cuenta las ideas de los alumnos y alumnas sobre la naturaleza de las partículas representadas, sino solo su forma o estructura.



| Tipos de representaciones   | Ejemplo |  |   |
|---|---------|--|---|
| <p><b>Macroescala:</b> representaciones en las que el alumnado no representa la materia «por dentro».</p>   |         |  | <p><b>Imagen 1.</b> Explicación del estudiante: El aire limpio acaba de salir de los árboles, así que es aire nuevo virgen. En el aire no se nota, pero al estudiarlo se ve que están los contaminantes de las fábricas, negocios y fumadores</p> |
| <p><b>Mezcla de escalas:</b> representaciones donde el alumnado habla explícitamente de partículas que constituyen la materia, como átomos o moléculas (sub-microescala), pero mezclándolas con materia/objetos en la macroescala o en la mesoescala.</p> |         |  | <p><b>Imagen 2.</b> Explicación del estudiante: En la limpia gases transparentes con moléculas de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>. En la contaminada gases grises, microplásticos con moléculas de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>.</p>           |
| <p><b>Escalas diferentes según el caso:</b> representaciones donde el alumnado representa escalas diferentes según si está representando el aire limpio (sub-microescala) o el aire contaminado (mesoescala).</p>   |         |  | <p><b>Imagen 3.</b> Explicación del estudiante: Aire limpio, los átomos del aire más comunes. Aire contaminado: partículas de niebla gris</p>   |

| Tipos de representaciones  | Ejemplo  |
|--|--|
| <p><b>No se puede interpretar la escala:</b> representaciones donde el alumnado habla de las partículas que constituyen la materia, pero en las que –dada la polisemia de la palabra «partícula»– es difícil colegir si los alumnos y alumnas están haciendo su representación en la mesoescala o en la sub-microescala.</p> |  <p><b>Imagen 4.</b> Explicación del estudiante: Aire limpio: dibujo aire como si fueran partículas que hay en el aire. Aire contaminado: dibujo esto como bacterias que hay en el aire.</p> |

**Cuadro 1.** Tipos de representaciones en función de qué escalas se usan para referirse a los componentes del aire y la contaminación atmosférica

### UNA PROPUESTA PARA TRABAJAR LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA EN DIFERENTES ESCALAS

Ante la dificultad presentada, se propone una secuencia didáctica basada en el ciclo de modelización de Couso y Garrido-Espeja (2017) llamada «Una mirada científica a la contaminación del aire». Esta se centra en trabajar explícitamente la diferencia entre las escalas a las que nos referimos al tratar con el fenómeno de la contaminación (macroescala, mesoescala y sub-microescala) y los efectos de esta. Los materiales educativos, así como la guía docente de este proyecto, están disponibles en línea.<sup>1</sup> Estos materiales son el resultado de un proceso de cocreación y revisión iterativa que ha involucrado tanto a investigadoras en didáctica como a profesorado de secundaria durante dos cursos escolares.

#### ¿Cómo es el aire del aula?

A partir de las representaciones sobre cómo se imaginan que es el aire, se pide al alumnado que comparen entre sí los dibujos iniciales del aire no contaminado.

A continuación, con la ayuda del profesorado, deberán consensuar una definición para el aire limpio a simple vista (macroescala) y para el aire limpio «por dentro» en la sub-microescala, dando respuesta a preguntas como: ¿qué moléculas constituyen los gases que forman el aire?

A partir de este consenso, se les propone que piensen si creen que el aire que respiran en la ciudad es así. Esto nos permite enlazar con las siguientes actividades relativas a la polución.

#### ¿Cómo es la contaminación atmosférica?

Con objeto de empezar a estudiar el fenómeno de la polución se plantea al alumnado analizar cualitativamente el humo que, por ejemplo, podemos observar que sale de los tubos de escape de algunos vehículos. Dada la dificultad de reproducir este fenómeno en el aula, se propone utilizar una combustión análoga, por ejemplo la de un cacahuete. **Para observar y estudiar cualitativamente**



el humo, se coloca encima de la columna de este un vidrio de reloj que recoja las partículas en suspensión que se liberan en la combustión y dejan la superficie del cristal completamente negro. Se plantean preguntas como: ¿de qué está hecho ese humo?, ¿qué ha recogido el vidrio de reloj?, ¿se puede clasificar en un estado de la materia?, ¿podríamos saber qué elementos químicos conforman las partículas de humo capturadas? o ¿cómo han llegado estas partículas de humo al vidrio de reloj? Estas cuestiones deben ayudar al alumnado a entender que el humo está formado por partículas sólidas en suspensión en un medio (en este caso una mezcla de gases como el aire) y empezar así a ahondar en la mesoescala del fenómeno.

A raíz del debate generado por el experimento se propone establecer las conexiones entre la analogía y la contaminación atmosférica. Para ello, se visualiza un vídeo donde un equipo científico real muestra cómo la ciencia profesional estudia la calidad del aire de forma similar: es decir, analizando los restos sólidos que se depositan en filtros por donde pasa el aire. Estos restos son materia particulada (PM) que estaba en suspensión en el aire, y nos sirven para medir el nivel de contaminación en el lugar donde están los filtros (estaciones de medición).

Una vez efectuada la conexión entre nuestra analogía y lo que hacen los científicos para estudiar la polución del aire por PM, y a partir de los indicadores de calidad del aire de la previsión meteorológica de los telediarios, se consensúan los dos principales tipos de contaminantes de la atmósfera en dos estados diferentes de la materia: gases contaminantes como los  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  u  $\text{O}_3$  y las partículas sólidas en suspensión.

## ¿Cuál es el comportamiento de la contaminación atmosférica?

Haciendo hincapié en las partículas sólidas en suspensión, se propone al alumnado pensar cómo puede ser que estas lleguen desde las fuentes de emisión hasta los filtros de las estaciones de calidad del aire que acabamos de ver. Sobre la base de sus ideas, se plantea reflexionar en torno a una analogía: ¿cómo podríamos conseguir que un globo se desplazara de un lugar a otro del aula? A raíz de esta discusión, el alumnado, con ayuda del profesorado, debe llegar a la conclusión de que el globo necesita interactuar con alguna otra cosa para poder desplazarse de una punta a la otra: por ejemplo, le podríamos dar pequeños golpes con la mano para desplazarlo hasta la meta. Así pues, ¿con qué podrían estar interactuando las PM en suspensión en el aire para desplazarse? A partir de esta pregunta entran en juego las moléculas que conforman los gases presentes en el aire.

Para seguir profundizando en esta interacción, se usa una simulación que muestra las medidas de diferentes PM en comparación con objetos cotidianos como un pelo o la cabeza de un alfiler. Además, se plantea compararlas con las medidas de las moléculas de algunos gases presentes en el aire, del orden de  $10^{-10}$  m. Esto nos permite ver y discutir acerca de las medidas de estas PM y de las moléculas que forman los gases, ahondando así en la diferencia entre la mesoescala y la sub-microescala.

Luego de trabajar las medidas se retoma la pregunta inicial y se sofisticada el proceso de indagación: ¿cómo puede ser que las moléculas del aire mantengan en suspensión las PM? Para ello se visiona un fragmento de un vídeo donde se reproduce este fenómeno y se establece la

## SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y GASES

relación entre la analogía que hemos hecho del globo y el movimiento de las moléculas que forman el aire y las PM.

Esta actividad nos permite sofisticar el modelo de materia, especialmente relevante para el estudio de la contaminación debido a que la medida de las PM está estrechamente relacionada con posibles afectaciones sobre la salud de las personas. Por ejemplo, las PM<sub>2.5</sub>, al respirarlas, penetran en los pulmones, atravesando bronquios y bronquiolos y llegando hasta los alveolos, lo cual aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias (Basagaña, 2018).

Asimismo, en este contexto, **el estudio cualitativo del movimiento de las partículas en suspensión tiene relevancia** a fin de entender que estas tienen un comportamiento que podemos aprovechar para reducir la polución del aire. Por ejemplo, esto explica que, en episodios de alta contaminación, se recomiende regar para que las PM se depositen con mayor facilidad o que los niveles de contaminación atmosférica disminuyan al llover. ◀

### Notas

- \* AGRADECIMIENTOS: El *Projecte Atenció* cuenta con financiamiento de programa RecerCaixa, impulsado por "la Caixa" con la colaboración de la ACUP. Llevado a cabo en el marco del programa de doctorado en Educación de la Universitat Autònoma de Barcelona, este trabajo también ha obtenido apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad (PGC2018-096581-B-C21), dentro del grupo consolidado ACELEC (2017SGR1399), y la beca predoctoral FI (AGAUR-DGR: 2018FI\_B\_00976).

1. <https://ddd.uab.cat/record/201543?ln=ca>

### Referencias bibliográficas

- BASAGAÑA, X. (2018): «Els efectes de la contaminació en les persones: què en sabem i de què busquem evidències?». *Ciències*, núm. 35, pp. 28-34.
- COUSO, D.; GARRIDO-ESPEJA, A. (2017): «Models and modelling in pre-service teacher education: Why we need both», en HAHL, K. y otros (eds.): *Cognitive and affective aspects in science education research. Selected Papers from the ESERA 2015 Conference*, pp. 245-261.
- HARLEN, W. (2010): *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias*. Hatfield. ASE.
- MEIJER, R. M.; BULTE, M. W. A.; PILOT, A. (2013): «Macro-micro thinking with structure-property relations: integrating "meso-levels" in Secondary Education, en *Concepts of Matter in Science Education*, vol. 19, pp. 419-435.
- OSBORNE, J. (2014): «Teaching scientific practices». *Journal of Science Teacher Education*, núm. 25, pp. 177-196.
- TALANQUER, V. (2009): «On cognitive constraints and learning progressions: The case of "structure of matter"». *International Journal of Science Education*, núm. 31(15), pp. 2.123-2.136.

### Direcciones de contacto

Caterina Solé i Martín

Èlia Tena i Gallego

Digna Couso Lagarón

Universidad Autónoma de Barcelona

[caterina.sole@uab.cat](mailto:caterina.sole@uab.cat)

[elia.tena@uab.cat](mailto:elia.tena@uab.cat)

[digna.couso@uab.cat](mailto:digna.couso@uab.cat)

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, en julio de 2019 y aceptado en mayo de 2020 para su publicación.

### 5.2.3. Concreció de la SEA

A partir dels principis, elements i eines de disseny descrites anteriorment s’ha concretat la SEA per a l’alumnat, així com la guia docent per al professorat, que es pot trobar publicada al Dipòsit Digital de Documents de la Universitat Autònoma de Barcelona i titulada “Una mirada científica a la contaminació de l’aire”, dins del material educatiu “Investigar sobre la contaminació a l’aula de Secundària (2a versió)”, i que conforma el producte de recerca principal de l’Estudi 2.

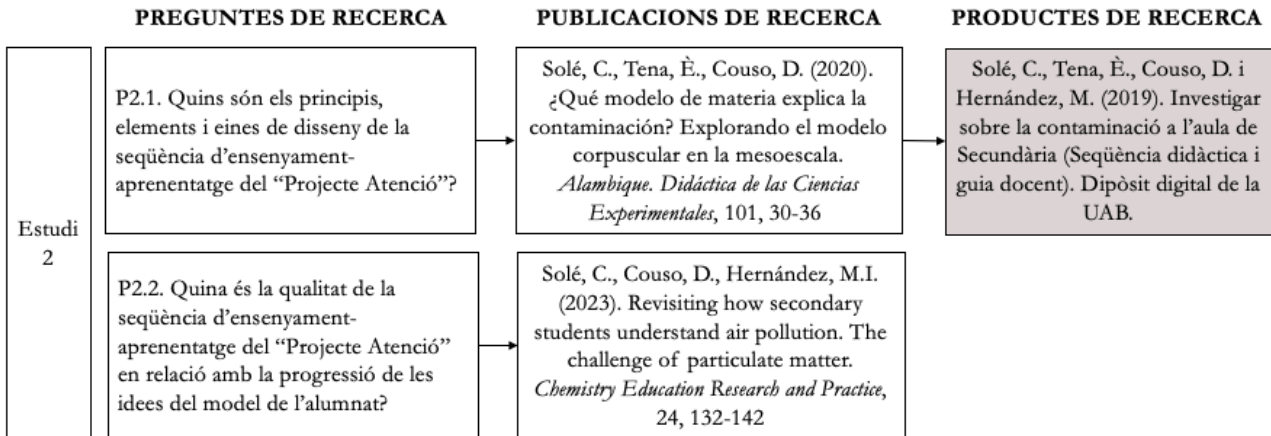


Figura 19. Esquema de l’Estudi 2 on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i els altres articles que conformen aquest estudi.

Aquesta SEA inclou tant les activitats de l’alumnat com la guia docent, on s’han inclòs algunes de les eines de disseny que hem considerat que també poden ser útils per a la implementació de la proposta: les idees clau de la seqüència, les idees alternatives més comunes en relació amb l’aire, la contaminació atmosfèrica i el model matèria, així com la connexió explícita amb el currículum.

A continuació, enlloc de presentar tota la SEA, es presenta un esquema de les activitats en relació amb quina és la fase del cicle de modelització (Couso & Garrido-Espeja, 2017), quina és la idea clau que pretén assolir aquella activitat de les referenciades a la Taula 3 i la descripció de l’activitat, ja que considerem que facilitarà la lectura.

Taula 4. Activitats previstes a la SEA en relació amb la fase del cicle de modelització (Couso & Garrido-Espeja, 2017) i la idea clau que es pretén assolir.

| Fase del cicle de modelització  | Idea clau  | Activitats de la SEA   |
|---|------------|--|
| 1. Presentar un fenomen quotidià  | Idea 1,2,3 | <b>Activitat 1. Notícia</b><br>Es presenta una notícia titulada “Els nens i nenes exposats a la contaminació de l’aire a les escoles podrien tenir més risc de sobrepès i obesitat?”. Es presenta el context del projecte i es pregunta sobre si creuen que tenim un problema amb la contaminació atmosfèrica. |
| 2. Demanar l’expressió explícita del model inicial  |            | <b>Activitat 2. Dibuix bosses</b><br>Es demana dibuixar i descriure una bossa amb aire net i una bossa amb aire contaminat tant a ull nu com “per dins”.   |
| 3. Posar a prova el model   | Idea 1     | <b>Activitat 3.1. Comparar dibuixos</b><br>Per petits grups es demana comparar què han dibuixat a les bosses d’aire net, discutint sobre què veuen a ull ni i com s’ho imaginem per dins.  |
| 4. Generar i/o aportar nous punts de vista / informació teòrica<br>5. Facilitar l’estructuració de les idees individuals en un model final consensuat |            | <b>Activitat 3.2. Posada en comú i consens</b><br>Es discuteixen les idees de cada grup i s’arriba a un consens sobre com és l’aire net referent a la primera idea del model.  |
| 1. Presentar un fenomen quotidià  | Idea 2     | <b>Activitat 4. Creus que l’aire de la teva ciutat és així?</b><br>A partir de pensar sobre l’aire net, es demana si pensen que l’aire de la seva ciutat es de la mateixa manera i que el diferencia.  |
| 2. Demanar l’expressió explícita del model inicial  | Idea 2.1   | <b>Activitat 5.1. Experiment per reproduir PM (part 1)</b><br>En grup petit, es planteja reproduir el fum de la combustió dels cotxes, a partir de la crema d’un cacauet. Abans, es demana que escriguin què creuen que passarà i què creuen que veuran amb la lupa/microscopi i per què creuen que serà així. |
| 3. Posar a prova el model   |            | <b>Activitat 5.2. Experiment per reproduir PM (part 2)</b><br>En grup petit es realitza l’experiment i es demana què ha passat i què han observat amb la lupa/microscopi i per què creuen que passa així.  |
| 4. Generar i/o aportar nous punts de vista / informació teòrica   |            | <b>Activitat 6. Com ho fan els i les científiques?</b><br>Es visualitza un vídeo on es mostra com els científics de manera anàloga al que hem fet a l’aula, estudien la contaminació atmosfèrica.  |
| 3. Posar a prova el model   | Idea 2.2   | <b>Activitat 7. Tota la contaminació són PM?</b><br>Lligant amb els dibuixos que han fet inicialment, en cas que hagin representat gasos contaminants, es presenta un fragment d’un article científic on s’explica què es consideren contaminants gasos i sòlids en suspensió a l’aire.                        |

|  |                     |   |
|--|---------------------|---|
| <p>3. Posar a prova el model</p>   | <p>Idea 2.3</p>     | <p><b>Activitat 8. I què passa amb el CO<sub>2</sub>?</b><br/>Es proposa discutir en gran grup, a partir dels dibuixos inicials de l'alumnat i dels indicadors sobre la qualitat de l'aire, si el CO<sub>2</sub> és un contaminant atmosfèric o no, arribant a un consens.</p>  |
| <p>5. Facilitar l'estructuració de les idees individuals en un model final consensuat</p>  | <p>Idea 2</p>       | <p><b>Activitat 9. Consensem de què parlem quan parlem de contaminació atmosfèrica</b><br/>Es demana consensuar i compartir en un document què és la contaminació atmosfèrica i si el CO<sub>2</sub> el podem considerar un contaminant atmosfèric.</p>   |
| <p>4. Generar i/o aportar nous punts de vista / informació teòrica</p> <p>5. Facilitar l'estructuració de les idees individuals en un model final consensuat</p> | <p>Idea 3.1</p>     | <p><b>Activitat 10. De quina mida són les PM?</b><br/>Es demana que a partir d'un fragment d'un text científic que descriu la rellevància de les PM en termes dels seus efectes sobre la salut de les persones, l'alumnat ordeni les principals molècules que componen l'aire juntament amb PM1 i PM10.</p> <p><b>Activitat 11. De quina mida són les PM?</b><br/>Després de reflexionar sobre la mida de les PM, es pregunta com pot ser que estiguin suspeses a l'aire. Es presenta un vídeo on es veuen les partícules sòlides en moviment, i es discuteixen i consensuen les conclusions del vídeo.</p> |
| <p>2. Demanar l'expressió explícita del model inicial</p>  |                     | <p><b>Activitat 12. Quins efectes creus que té sobre la salut?</b><br/>Es demana quins són els efectes que creuen que pot tenir la contaminació sobre la salut.</p>   |
| <p>3. Posar a prova el model</p>   | <p>Idea 3.2</p>     | <p><b>Activitat 13. Com ens afecten les PM a la salut?</b><br/>Es demana pensar en els possibles efectes sobre el cos humà i el mecanisme que creuen que afectarà sobre cadascun dels sistemes presents.</p>  |
| <p>4. Generar i/o aportar nous punts de vista / informació teòrica</p>   |                     | <p><b>Activitat 14. Discutim les diferents afectacions</b><br/>A partir de la lectura d'un fragment d'un article científic es demana refer les explicacions posades a la pregunta 13.</p>   |
| <p>5. Facilitar l'estructuració de les idees individuals en un model final consensuat</p>  | <p>Idea 1, 2, 3</p> | <p><b>Activitat 15. Dibuix bosses</b><br/>Es demana tornar a dibuixar i descriure com són una bossa d'aire net i una bossa amb aire contaminat tant a ull nu com "per dins", i destacar les diferències respecte el seu dibuix inicial.</p>   |

### **5.3. Avaluació de la qualitat educativa en termes de la progressió de les idees del model matèria de l'alumnat**

En aquest subestudi analitzem la qualitat de la seqüència d'ensenyament-aprenentatge en termes de la seva Eficàcia de nivell 2, és a dir, fins a quin punt els resultats de la recerca sobre les idees de l'alumnat en relació amb el model matèria provenen que s'han assolit els objectius d'aprenentatge que perseguia la SEA (Tena & Couso, 2023).

Per a fer-ho a continuació es presentarà la metodologia de recollida i anàlisi de dades en detall i l'article "Revisiting how secondary students understand air pollution. The challenge of particulate matter" que dona resposta a la pregunta de recerca P2.2.

#### **5.3.1. Metodologia de recollida i anàlisi de dades**

##### *5.3.1.1. Paradigma de la recerca i marc metodològic*

Aquesta recerca s'emmarca en un paradigma interpretatiu que, de la mateixa manera que s'ha explicat anteriorment a l'Estudi 1, es basa en que la realitat no es pot deslligar de la subjectivitat de cada persona i el context en el que es dona, i per tant, la teoria generada per la recerca emergeix de situacions particulars (Cohen et al., 2018). Sota aquest paradigma, ens situem en una anàlisi mixta de les dades, quantitativa i qualitativa, que són de caire qualitatiu (dibuixos i explicacions escrites de l'alumnat). Aquesta anàlisi mixta ens permetrà aprofundir en el fenomen per tal de comprendre'n les diferents dimensions, i alhora, a través d'una anàlisi de coocurrències quantitativa analitzar les relacions entre elles. A la secció d'anàlisi de dades s'aprofundirà en aquesta metodologia.

##### *5.3.1.2. Recollida de dades*

Durant el curs 2019-2020 es va implementar la seqüència d'ensenyament-aprenentatge titulada "Una mirada científica a la contaminació de l'aire", dins del material educatiu "Investigar sobre la contaminació a l'aula de Secundària (2a versió)", a 12 instituts de secundària de Barcelona i la seva Àrea Metropolitana que estaven interessats en treballar la problemàtica de la contaminació atmosfèrica amb el seu alumnat de 3r d'ESO. La difusió d'aquesta iniciativa es va fer a través dels canals del CRECIM (Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica) i amb la col·laboració del CESIRE (Centre de Recursos Pedagògics Específics de Suport a la Innovació i la Recerca Educativa).

D'aquests instituts se'n van seleccionar 4 per participar de la recerca didàctica, ja que van ser els centres que van implementar la seqüència durant el primer trimestre, i que per tant, no van quedar afectats pel confinament i les restriccions causades per la pandèmia de Covid-19, podent iniciar i acabar la implementació amb normalitat. La participació d'aquests 4 centres, va resultar amb un total de 205 alumnes implementant la seqüència didàctica, esdevenint la nostra mostra seleccionada per conveniència (Cohen et al., 2018, p. 218). Malgrat que l'alumnat provenia de diferents centres educatius, en aquesta recerca s'han analitzat les dades i s'han extret resultats i conclusions de forma conjunta, ja que no s'han trobat diferències destacables entre l'alumnat i no és objectiu d'aquesta tesi investigar sobre la relació entre els resultats d'aprenentatge i altres factors com la implementació dels docents o els contextos i factors sociodemogràfics de l'alumnat.

Així, per tal de recollir quines són les idees en relació amb el model matèria de l'alumnat en el context de la contaminació atmosfèrica, s'han recollit les produccions de l'alumnat a la primera i última activitat de la seqüència didàctica. Aquesta activitat, tal i com es pot veure a la Figura 20, demana a l'alumnat que de forma individual representi i expliqui com s'imagina l'aire net i l'aire contaminat tant a ull nu com per dins.


**2.** En aquestes bosses hem recollit aire net i aire contaminat.

a) Dibuixa què creus que veuries en una bossa d'aire net i en una bossa d'aire contaminat a ull nu.

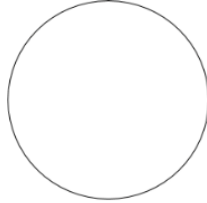
b) Dibuixa també què observaries si poguessis veure de què estan fets cadascun dels aires d'aquestes bosses.

Aire net

Què veuríem a ull nu?

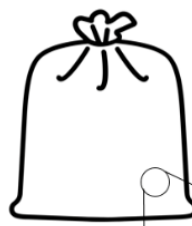


Com t'imagines que és per dins?

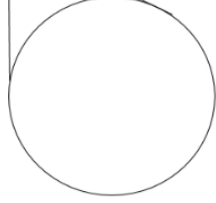


Aire contaminat

Què veuríem a ull nu?



Com t'imagines que és per dins?



Describeix el que has dibuixat a les dues bosses:

Figura 20. Enunciat de l'activitat de la SEA que ha servit com a instrument de recollida de dades sobre les idees de l'alumnat en relació amb el model matèria i la contaminació atmosfèrica tant a l'inici com al final de la seqüència.

El disseny, planificació i elecció d'aquesta proposta com a activitat d'idees prèvies i instrument de recollida de dades respon a diferents criteris. En primer lloc, considerem que l'ús de les pròpies activitats de la SEA com a instrument de recollida de dades evita una sobrecàrrega d'activitats tant pels docents com per a l'alumnat, de manera que no s'incorporen qüestionaris o preguntes que no tenen objectius formatius. A més a més, ens permet com a investigadores recollir les respostes individuals de cadascun dels alumnes, sense tenir biaixos en la mostra d'aquell alumnat que, per exemple, no participa per diferents motius en una posada en comú en gran grup (Jiménez-Liso et al., 2021). D'altra banda, aquesta activitat convida a l'alumnat a expressar les seves idees en un format multimodal, mitjançant dibuixos i explicacions escrites (Márquez et al., 2003). L'ús del dibuix s'ha mostrat com una eina útil perquè l'alumnat representi les seves idees (Moltó et al., 2021) i, alhora, ens permet com a investigadores analitzar detalls que sovint no es capturen a través d'altres eines que involucren respostes verbals, ja siguin orals o escrites (Cooper et al., 2017). La combinació de les dues expressions ens permet interpretar de forma més completa les idees de l'alumnat (Gómez & Gavidia, 2015). Finalment, aquest instrument també convida a l'alumnat a representar les seves idees en dues escales diferents, a ull nu i com s'imaginen l'aire per dins, és a dir en una escala macroscòpica i en una escala meso o microscòpica, que ens permetrà analitzar les idees del model matèria de l'alumnat en diferents escales (Gerlach et al., 2014).

### *5.3.1.3. Anàlisi de dades*

Per a l'anàlisi de dades s'ha seguit una metodologia mixta, essencialment qualitativa i interpretativa, però alhora, s'han incorporat mètodes quantitius per posar en relleu freqüències de respostes i analitzar les coocurrències entre diferents dimensions.

D'acord amb la proposta de Miles et al. (2014), per a l'anàlisi de dades s'han seguit tres fases: en primer lloc, la preparació de les dades per al seu processament; en segon lloc, un primer cicle de creació de codis i codificació; i en tercer lloc, un segon cicle de codificació amb l'objectiu d'identificar patrons. A continuació es descriurà cadascuna d'aquestes fases.

A la primera fase de preparació de les dades s'han seleccionat aquelles produccions de l'alumnat que complien les condicions tècniques per a poder-se analitzar i respondre a la pregunta de recerca. D'una banda s'han seleccionat aquelles produccions de l'alumnat per a les que hi havia una correspondència pre i post. D'altra banda, s'han seleccionat les produccions que eren comprensibles, tant per a la qualitat de la imatge o el document, com

per la llegibilitat dels dibuixos i escrits de l'alumnat. A més a més, degut a que l'anàlisi s'ha realitzat amb el software Atlas.ti també s'han hagut de preparar les dades per a l'ús d'aquesta eina. Per a fer-ho, s'ha separat cadascuna de les produccions de cada alumne/a de forma individual en format .pdf i s'ha identificat mitjançant un codi que caracteritzava l'arxiu de forma anònima i que permetia traçar la producció pre i post de cada alumne/a (p. ex. Institut1\_Alumne1\_IdeesPrèvies).

En segon lloc, abans d'iniciar la creació de codis i la codificació iterativa s'han definit les unitats d'anàlisi. Per això, s'han escollit com a unitat d'anàlisi les idees de l'alumnat de forma global, incloent tant parts del dibuix com de l'explicació escrita, i s'han identificat com a cites al software Atlas.ti. Cal tenir en compte, però, que a vegades les pròpies explicacions i representacions de l'alumnat no són consistents entre elles (per exemple, pot parlar de bocins de contaminació però alhora fer representacions on es mostra l'aire contaminat de forma contínua) (Pozo & Gómez Crespo, 2005). Així, en aquells casos en que les diferents representacions i explicacions de l'alumnat no són consistents, s'ha optat per categoritzar aquella idea menys sofisticada, amb un criteri de cautela. Malgrat que aquesta estratègia té algunes limitacions, creiem que s'alinea amb la recerca que apunta la resistència al canvi que ofereixen les idees de l'alumnat (Driver, 1994).

Un cop definides les unitats d'anàlisi, s'ha realitzat una primera anàlisi definint un sistema de categories de forma iterativa. Per a fer-ho, s'ha emprat el mètode de comparació constant (Kolb, 2012), considerant categories emergents de les dades, però també categories identificades a recerques prèvies, com les de Tena i Couso (2021) sobre les idees de l'alumnat de primària per a la contaminació atmosfèrica, idees de l'alumnat respecte el model matèria com les de Hadenfeldt i col·legues (2014), o idees relacionades amb la natura i els components presents a l'aire que s'espera que l'alumnat d'aquest nivell domini, com la presència de nitrogen, oxigen o diòxid de carboni a l'atmosfera (Skamp et al., 2004).

En un segon cicle de codificació, el sistema de categories s'ha anat refinant a partir de la codificació iterativa, fins col·lapsar en un sistema de codis per a l'anàlisi que compta amb dues grans dimensions: d'una banda, l'anàlisi de l'estructura, i d'altra banda, l'anàlisi de la natura de l'aire contaminat. Per a l'estructura hem definit dues subdimensions, la primera en relació amb la continuïtat de la matèria, i la segona, en relació amb l'escala de representació de la matèria. D'altra banda, per a la natura també hem definit dues subdimensions, la primera relacionada amb el tipus de components representats, i la segona relacionada amb la quantitat de components representats. Cal tenir en compte, però, que per a l'anàlisi de la natura s'han

fet servir les representacions i explicacions de l'alumnat tant a ull nu com per dins, però en canvi, per a l'anàlisi de l'estructura s'han fet servir només les representacions de l'alumnat quan representava l'aire per dins. Aquesta diferència rau en el fet que és en aquesta escala quan l'alumnat posa en joc les seves idees en relació amb la continuïtat i l'escala de l'aire contaminat. El detall del sistema de codis, amb la definició de cadascuna de les categories, es pot trobar a la Taula 1 de l'article "[Revisiting how secondary students understand air pollution. The challenge of particulate matter](#)".

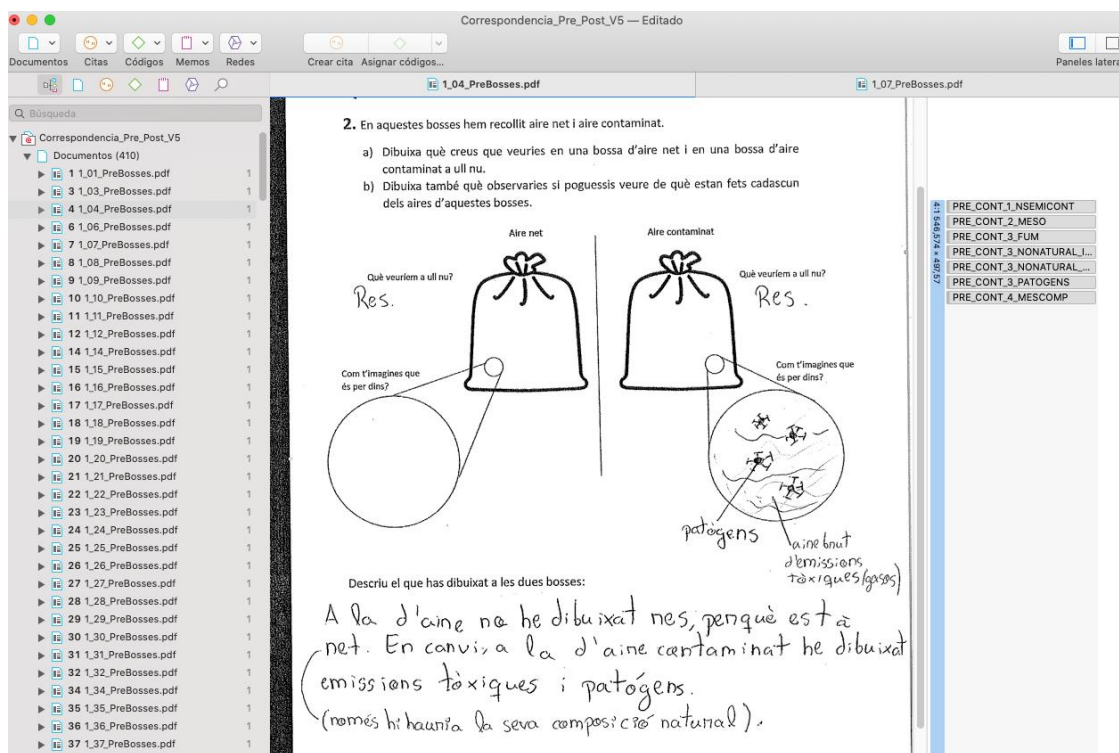


Figura 21. Exemple de la codificació feta amb el software Atlas.ti versió 9 per a la producció d'un alumne/a en relació amb l'aire contaminat. A l'esquerra de la pantalla es pot observar el llistat de documents analitzats. Al centre un exemple d'una producció d'un alumne. A l'esquerra els codis assignats a aquesta producció.

En una segona fase d'aquest cicle anàlisi s'ha dut a terme una anàlisi de coocurrències entre les categories, amb l'objectiu de trobar relacions entre les subdimensions d'estructura (escala i continuïtat) i les subdimensions de natura (tipus de components i número de components) de l'aire contaminat. Per a fer aquesta anàlisi s'ha optat per a fer ús de l'eina "Taula de coocurrències" del software Atlas.ti versió 9 que ens indicava el percentatge de produccions de l'alumnat en les que es trobaven els codis de cadascuna de les subdimensions. Per a la representació d'aquestes coocurrències entre subdimensions, s'ha optat per una representació mitjançant gràfics de boles, seguint autores com Garrido-Espeja (2016), que indiquen el percentatge d'alumnat en cadascuna de les combinacions entre categories.

#### 5.3.1.4. *Validesa i fiabilitat de la metodologia*

Un dels aspectes centrals de la recerca és garantir tant la validesa com la fiabilitat del disseny i la metodologia emprada. Estem d'acord, però, que les recerques qualitatives requereixen per a la seva avaluació de criteris diferents dels de recerques de caire quantitatiu (Cohen et al., 2018; Neuman, 2014).

Així, per avaluar la validesa de la recerca en aquesta tesi hem utilitzat els criteris recollits per Cohen i col·legues (2018) basats en les propostes de Lincoln i Guba (1985) i Ary i altres (2002): la credibilitat, la transferibilitat, la dependència i la confirmabilitat. Per garantir aquests criteris, Sampieri Hernández i col·legues (2006) proposen estratègies com estades de camp, compartir l'anàlisi amb els participants, l'ús de descripcions detallades i profundes o la triangulació entre mètodes o investigadors.

Seguint aquestes estratègies, el curs 18-19 es va participar en la implementació de tota la SEA en dos grups-classe d'un centre educatiu del Vallès Occidental, en un grup com a observadora participant i en el segon com a observadora no participant.

D'altra banda, s'ha utilitzat una triangulació entre investigadores per a l'anàlisi. En primer lloc, la doctoranda va seleccionar una submostra representativa de produccions de l'alumnat i va realitzar una codificació inicial. Posteriorment, es va compartir aquesta codificació amb les directores d'aquesta tesi doctoral, es va discutir i es van arribar a acords en aquells casos on hi havia discrepàncies entre les investigadores. Aquest procés es va dur a terme de forma iterativa fins al col·lapse de les categories i l'acord entre investigadores. A més a més, per tal de garantir la validesa interpersonal, es va repetir l'anàlisi de la submostra al cap d'uns mesos obtenint resultats similars.

En relació amb la transferibilitat, la mostra utilitzada en aquest estudi és diversa en quant a centres educatius, i permet la transferència dels resultats en diferents contextos educatius. D'altra banda, també s'ha tingut en compte l'anàlisi realitzat sobre el mateix fenomen per a altres nivells educatius realitzat per Tena i Couso (2021), en el cas d'alumnat d'educació primària.

### 5.3.2. Article “Revisiting how secondary students understand air pollution. The challenge of particulate matter”

A continuació es presenta l'article “Revisiting how secondary students understand air pollution. The challenge of particulate matter” publicat a la revista *Chemistry Education, Research and Practice* i que es reproduïx a continuació amb el permís de la Royal Society of Chemistry per a la reproducció d'articles en tesis doctorals.

Cal destacar, que d'acord amb Oliva (2020), la caracterització de l'escenari didàctic en els articles de recerca és essencial. Per aquest motiu en aquest article també s'inclou com a material suplementari un resum de totes les activitats de la SEA en relació amb quina és la idea clau que s'està treballant i en quina fase del cicle de modelització (Couso & Garrido-Espeja, 2017) es situa l'activitat.

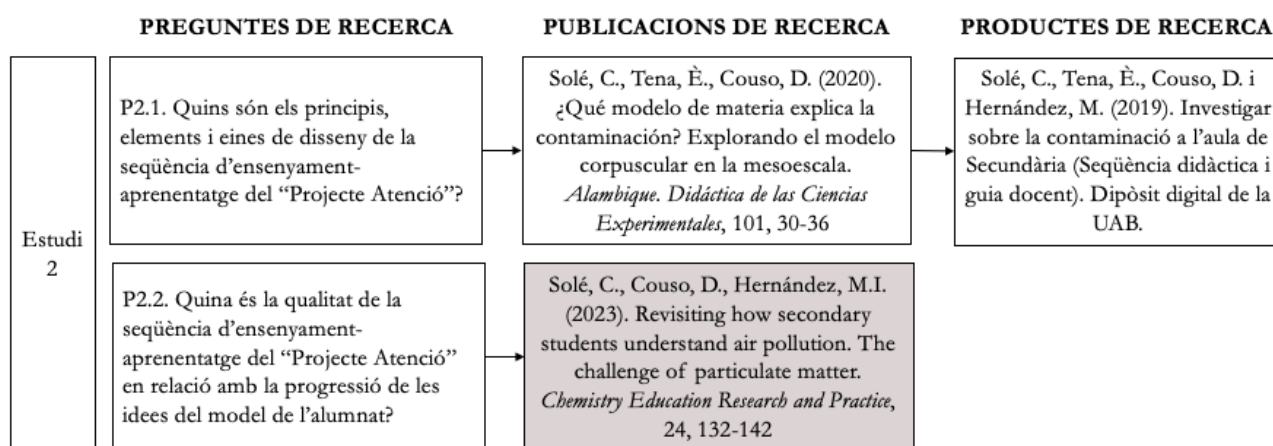


Figura 22. Esquema de l'Estudi 2 on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i els altres articles que conformen aquest estudi.



Cite this: DOI: 10.1039/d2rp00117a

## Revisiting secondary students' ideas about air pollution. The challenge of particulate matter†

Caterina Solé,  \* Digna Couso  and María Isabel Hernández 

Many studies have researched students' ideas about air pollution, basically focusing on nature and impact of gaseous pollutants on human health. However, recent research has highlighted the importance of the role of particulate matter air pollution for a good air quality in cities. This phenomenon is especially interesting for exploring the limits of the particulate model of matter at the mesoscale with secondary students. The purpose of this research is to investigate the ideas of 14–15 year-old students about polluted air in terms of its structure and its nature and how these ideas change after the implementation of a model-based teaching and learning Sequence. An interpretative qualitative approach is used to explore students' ideas and how they change. Pre- and post-multimodal representations of 205 secondary students were analysed. Results showed that a sophistication of students' ideas about the nature of polluted air after the teaching and learning sequence is not necessarily related to the sophistication of its structure. Also, students' ideas at the mesoscale are varied and include a range of different semicontinuous or discontinuous conceptions.

Received 28th April 2022,  
Accepted 21st September 2022

DOI: 10.1039/d2rp00117a

rsc.li/cerp

### Introduction

The particulate model of matter is undoubtedly one of the big ideas of science (Harlen, 2010) and plays an important role in students' scientific literacy (Harrison and Treagust, 2002). This model is useful to describe, explain and predict natural phenomena (Oh and Oh, 2011) and, using it, students have to be able to interpret and interact with their environment. Usually, phenomena proposed in science classrooms are those which are paradigmatic and really useful to contribute to the development of a model (Izquierdo-Aymerich and Adúriz-Bravo, 2003), such as ideal gases or transitions from one state of matter to another (Liu and Lesniak, 2006). However, these tend to be far from daily phenomena.

One of those phenomena related to the particulate model of matter is air pollution. The World Health Organization defines it as "contamination of the indoor or outdoor environment by any chemical, physical or biological agent that modifies the natural characteristics of the atmosphere" (World Health Organization [WHO], 2021), which include gaseous pollutants such as carbon dioxide, related to global damages, or nitrogen oxides, related to local effects, but also solid pollutants that could be in suspension in the air such as particulate matter (PM).

Thus, to understand air pollution, to act and to design solutions, students not only have to describe, explain and understand the behaviour of gases, but also how it is possible that solid pollutants are sustained in the air. Pollution caused by PM is especially interesting for working on the limits of the particulate model of matter, because understanding what they are and how they behave implies focusing on a phenomenon that occurs at the mesoscale, between  $10^{-7}$  m (*i.e.* PM<sub>0.1</sub>, particulate matter from combustion) and  $10^{-5}$  m (*i.e.* PM<sub>10</sub>, dust particles) (Solé *et al.*, 2020).

This type of phenomenon at the mesoscale, such as air pollution caused by PMs but also others such as microplastics contamination in water, leads us to wonder whether the model of the structure of matter usually proposed in science classrooms has enough descriptive, predictive and explanatory power in this context. To address this issue, the purpose of this research is to investigate students' ideas about air pollution, particularly regarding the nature and the structure of polluted air and, how these ideas change before and after a model-based teaching and learning sequence (TLS). The aim is not only to explore how the students' ideas change in a TLS specifically designed with this goal, but also to provide insights for more adequate teaching of this model in the classroom.

The research in science education showed that explorations of students' ideas about science topics are crucial for designing classroom activities. From the 1990s, a body of knowledge has been developed about student's ideas (see for example Driver *et al.*, (1994)). However, the literature reported different approaches on how to understand the status and nature of

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals,  
Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra (Cerdanyola del Vallès) 08193,  
Barcelona, Espanya. E-mail: caterina.sole@uab.cat

† Electronic supplementary information (ESI) available. See DOI: <https://doi.org/10.1039/d2rp00117a>

## Paper

## Chemistry Education Research and Practice

those ideas and how they could be represented, including terms such as 'conceptions', 'misconceptions', 'preconceptions' and 'mental models' among others (Taber, 2013b). In the present research, we use the term 'ideas' to refer to those conceptions that we can interpret from the students' drawings and explanations about a scientific topic from a broad perspective. As such we are not examining knowledges structures, as in the case of mental models, nor are we making judgements as in the case of misconceptions or alternative conceptions (Taber, 2013b).

## Students' ideas related to the nature of air pollution

Some authors have undertaken research on the conceptions of students of different educational levels about air pollution (Skamp *et al.*, 2004; Myers *et al.*, 2004; Boyes *et al.*, 2007; Dimitriou and Christidou, 2007; Mandrikas *et al.*, 2017; Tena and Couso, 2021). These studies are mainly focused on the students' ideas about what airborne gaseous pollutants are (Thornber *et al.*, 1999; Skamp *et al.*, 2004; Boyes *et al.*, 2007), how they behave (Mandrikas *et al.*, 2017) or how these pollutants impact on the environment and living things (Skamp *et al.*, 2004; Dimitriou and Christidou, 2007). However, there has been little research to study what students' ideas are related to non-gaseous air pollutants such as particulate matter (PM) and its behaviour (Tena and Couso, 2021). Previous studies have focused on conceptions related to the global effects of air pollution, such as climate change, acid rain and the hole in the ozone layer caused by gaseous pollutants (Skamp *et al.*, 2004; Boyes *et al.*, 2007), but students' ideas related to the local effects of air pollution are unresearched, as is the case of PM.

Despite the fact that most previous studies are based on the ideas of primary school students (7 to 11 years) about air pollution, Skamp *et al.* (2004) conducted research with students from 11 to 16 years that indicates that there is a prevalence of ideas about some air pollution concepts across ages. Thus, in order to explore the challenges identified in the literature, we have considered studies including primary and secondary students.

Mostly, students associate their ideas about air pollution with its origin, highlighting transport and industry as the main sources (Thornber *et al.*, 1999; Pruneau *et al.*, 2005), but also viruses and pathogens (Dimitriou and Christidou, 2007; Tena and Couso, 2021). In terms of the gases present in polluted air that students named, the results of the closed questionnaire explored by Thornber *et al.* (1999) show that almost all students indicate that in the polluted air there are "extra" things that should not be there, and almost a fifth of their sample mention that carbon dioxide is only characteristic of polluted air. However, Myers *et al.* (2004) point out that as students grow most of them appreciate that carbon dioxide is also in unpolluted air.

These authors have reported many difficulties in understanding the phenomenon of gaseous air pollution, but also many difficulties in understanding "normal" air (Myers *et al.*, 2004). For young students, in terms of nature, it is challenging to understand

that we are surrounded by a colourless, odourless, tasteless substance that has particular properties such as density (Driver *et al.*, 1994), and as they grow older the challenge is to understand that this substance is a mixture of gases that can be differentiated (Skamp *et al.*, 2004; Tena and Couso, 2021).

Taking into account that normal air has already been shown to be a challenging substance to describe, it is expected that new difficulties will arise for students when having to fit into their alternative model of air the new information regarding air pollution that they receive both at school and from out-of-school activities (Thornber *et al.*, 1999).

## Students' ideas about the structure of matter applied to the PM air pollution phenomenon

These previous studies have explored students' ideas related to the nature of gaseous air pollution. But, despite the fact that students may mention the name of particular gases, such as CFCs (chlorofluorocarbons), carbon monoxide, or carbon dioxide (Thornber *et al.*, 1999), it is probable that they do not recognize them as particulate entities at the submicro scale (Skamp *et al.*, 2004; Tena and Couso, 2021). Accordingly, regarding the specific topic of air, the research done by Vilardo *et al.*, (2017) shows that, prior to a classroom intervention, one third of their students represent air at the submicro level but none of them drew it correctly. This signals the importance of research and practice focusing not only on the nature of air pollution, but also on its structure. To reflect on the structure of air pollution implies delving into the particulate model of matter and scales.

When the literature explores the particulate model of matter, it usually focuses on the degree of discontinuity of matter and on whether or not students represent an underlying structure between particles (Talanquer, 2009; Hadenfeldt *et al.*, 2014), among other things such as the movement of these particles or their interactions in the upper levels (Moltó *et al.*, 2021). Thus, in his review Talanquer (2009) defines three dimensions, from novice to advanced learners, of the implicit assumptions that students have about the structure of matter: continuity, granularity (embedding) and corpuscularity (vacuum). Hadenfeldt *et al.* (2014), including the work of Talanquer (2009) among others, define 5 levels of sophistication related to the structure and composition of matter, also in terms of the particulate concept. These ideas are circumscribed at the submicro scale, but what happened at the other levels of description such as the mesoscale, and how these ideas could be connected with other levels, is a challenge for various reasons.

One of the difficulties associated with the corpuscularity of matter is the polysemic use of the term 'particle'. In teaching proposals, the term 'particle' could be assimilated both to molecules or atoms (*i.e.* a particle of CO<sub>2</sub>) and to small portions of a body (*i.e.* a dust particle), or even at higher educational levels to subatomic particles (*i.e.* in expressions such as 'subatomic particles called nucleons') (Blanco and Prieto, 1996; Taber, 2013a).

In our discussion, this issue is very important because in the air pollution context we are adding a new meaning for the term 'particle' related to pollutant particles in suspension.

On the other hand, traditionally one of the objectives of secondary education in chemistry has been to develop micro-macro connections thinking (van Berkel *et al.*, 2009; Gkitzia *et al.*, 2020), connecting the properties of matter at the macro-scale to its internal structure at the submicroscale and "scale literacy" (Gerlach *et al.*, 2014). In their research, Gerlach *et al.*, (2014) showed that students, no matter how experienced, were anchored in the human realm, and in consequence, all non-visible small objects were perceived as being similar in size (*i.e.* cells and viruses or bacteria).

Despite the fact that this is a key conceptual area, there are some phenomena that we cannot explain in terms of micro-macro thinking (Meijer *et al.*, 2009), such as the transmission of a virus, the behaviour of surface friction, topics related to nanotechnology or particulate matter air pollution. For this type of phenomenon an intermediate level is necessary, the mesoscopic level (Besson and Viennot, 2004; Meijer *et al.*, 2013). Thus, we advocate explicitly including this intermediate level, describing three different levels: macro, meso and submicro. The macro level is related to visible or measurable phenomena closely connected to the human scale (Meijer *et al.*, 2013). The meso level is related to structures between  $10^{-1}$  and  $10^{-9}$  m. The submicro level is related to the development of models such as atom or electron distribution (Gilbert and Treagust, 2009). Likewise, the submicro level encompasses different sublevels that add complexity to the models: the atomic-molecular level refers to atoms and molecules and the subatomic level refers to the internal structure of the atom (Caamaño, 2020). In the review of the literature, we usually find the mesoscopic level included in the micro level, including examples such as multimolecular structures (Caamaño, 2020) or colloids (Gilbert and Treagust, 2009).

Despite the consensus that both the structure and scale are important, very few studies have been conducted on students' ideas about air pollution that include both dimensions. In previous research, Tena and Couso (2021) explored primary students' (10 to 12 year-olds) ideas about air pollution in terms of its nature and its structure identifying two main challenges: understanding that air is a mixture and moving towards the idea of air (and polluted air) as a non-continuous substance. In the light of these results, and all of the above, we have researched secondary students' ideas about air pollution.

## Models, target model and modelling

To develop a sophisticated particulate model of matter implies a progressive development of ideas in which some of them could act as stepping stones for more advanced ideas to be developed in the future (Campbell *et al.*, 2016). Thus, a convenient strategy is to define target models suitable for each educational level (Rea-Ramirez, 2008). In order to establish the key ideas of the target model, Duit (2007) proposed the Model of Educational Reconstruction, in which didactical content is

constructed by taking into account both scientific ideas and previous research on teaching and learning of a particular topic. Following the Model of Educational Reconstruction, the definition of the target model comprised the following:

- Analysis of the subject matter based on public understanding of science publications (*e.g.* Basagaña (2018)) and interviews with experts in different fields: air pollution, epidemiology, public health and air pollution sensors developers.
- Review of previous research studies about students' ideas of air pollution.
- Preliminary research study about 14 to 15 year-old students' ideas about air pollution conducted by the authors (Solé *et al.*, 2020).

From this process, we have defined the core ideas of the target model about air pollution for secondary students (14–15 years old) described in Fig. 1.

Modelling is a privileged instructional approach to help students master the target model (Clement, 2000). It consists of successive and progressive approximations in which students express their initial ideas about a phenomenon, test their ideas, review their ideas based on their new observations and information and finally express a consensus model (Schwarz *et al.*, 2009; Couso and Garrido-Espeja, 2017). The focus on modelling is due not only to its epistemic importance as a crucial scientific practice (Osborne, 2014) but also to the fact that it is an instructional approach that has been shown to be helpful for the design of model and modelling-based teaching and learning sequences (Windschitl *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2015).

---

**Idea 1.** Clean air is a mixture of gases, which in turn are made up of different molecules such as  $N_2$ ,  $O_2$  or  $CO_2$ .

**Idea 2.** We consider that air is polluted if it contains components (chemical elements or compounds) that have negative effects on the health of humans, animals or plants which either are not part of its usual composition or are present with a higher concentration.

**Idea 2.1.** There can be solid particulate matter (PM) in the air that acts as air pollutant.

**Idea 2.2.** There may be gases in the air such as  $NO_2$ ,  $SO_2$ , or  $O_3$  that act as air pollutants.

**Idea 2.3.**  $CO_2$  is not considered an air pollutant. However,  $CO_2$  does contribute to global warming.

---

**Idea 3.** PMs are particles with a size between  $10^{-5}$  and  $10^{-7}$  m suspended in the air. Particulate matter air pollution is a phenomenon that occurs at the mesoscale and has consequences for human health.

**Idea 3.1.** PMs are in suspension in the air because, despite being very small, they are much bigger than the submicroscopic particles (atoms, ions, molecules) that form the gases present in the air and, thus, collide with lots of them at the same time, in such a way that they are sustained.

**Idea 3.2.** PMs cause problems for people's health since they can penetrate the body due to their size. The smaller the PMs, the more they penetrate different barriers within the human body.

Fig. 1 Core ideas of the target model about air pollution addressed in the TLS designed.

## Objectives of the research

In this research we explore students' ideas about air pollution before and after participating in a model-based TLS designed to promote the development of core ideas about air pollution defined in Fig. 1. Based on the foregoing, we defined the following research questions:

- What are 14 to 15 year-old students' ideas about polluted air in terms of its structure and its nature?
- How do these students' ideas change after the implementation of a model-based teaching and learning sequence?

## Context and methods

### Research context

The present study has been developed in the context of a citizen science project called 'Projecte ATENCIÓ' (<https://www.projec-teatencio.cat>) in Barcelona. The project was approved by the Parc de Salut Mar Clinical Research Ethics Committee (approval number: 2018/7968/I).

In this context, a TLS was designed following a Design-Based-Research (DBR Collective, 2003) methodology, through an iterative process that consists of iterative cycles of design, implementation in real classrooms and evidence-based modifications during the 2018–2019 and 2019–2020 academic years. The TLS consisted of 12 classroom hours divided in two modules (6 classroom hours each). The first module was based on the modelling cycle (Couso and Garrido-Espeja, 2017) and aimed to develop a sophisticated idea about the nature and the structure of polluted air, focusing on the behaviour of particulate matter at the mesoscale (activities A10 and A11 in the Appendix I). The core ideas of the target model that students were expected to grasp are included in Fig. 1 and a brief description of the full activities can be found in Appendix I, relating each core idea with classroom activities. The second module was inquiry-based (Windschitl *et al.*, 2008) and aims that students design and conduct their own research about air pollution in their high school. The TLS is published in the open repository of the Universitat Autònoma de Barcelona: <https://ddd.uab.cat/record/201543?ln=ca>.

### Data collection

Throughout the 2019–2020 academic year, a total of 12 high schools from Barcelona and its metropolitan area interested in the air pollution issue participated in the project with students aged 14 to 15. Of these, only 4 participating high schools were able to complete all the TLS in the first term of the course due to the lockdown caused by the COVID-19 pandemic. The 205 students from these 4 public high schools make up the convenience sample selected for data gathering and analysis purposes.

We collected data from the individual productions of the students answering the first and the last activity in the first module of the TLS. We asked students to draw and describe in written form how they conceived of the air in a hypothetical sample of polluted air. Drawings, and not only written explanations, are used because sketching is a powerful assessment tool that can show the

complexity of students' ideas that other assessment instruments do not often capture (Cooper *et al.*, 2017). Furthermore, to promote the use of their ideas at different scales, we asked them to draw and describe the polluted air both as seen with the naked eye (Question A) and how they imagine it inside (Question B).

All participants and their legal guardians were informed about the main objectives of the research. Furthermore, all the teachers participating in the implementation of the TLS were informed about the objectives of the research and signed informed consent. On the other hand, preliminary results were shared with students and teachers in the final event of the project.

### Data analysis

In order to answer our research questions, we decided to explore students' ideas using an interpretative qualitative approach. To classify students' productions about polluted air, a system of coding was created using the constant comparative method (Kolb, 2012), considering both categories emerging from the data, and categories identified in previous research, including the categories coding system proposed by Tena and Couso (2021) in the case of primary students in the same context of polluted air.

The coding system is shown in Table 1 and is formed by two dimensions: students' ideas regarding the nature of polluted air and students' ideas regarding the structure of polluted air.

In addition to the coding system proposed by Tena and Couso (2021) for primary students, we have detailed some other categories to include more sophisticated ideas of high school students. For the dimension related to the ideas regarding nature, we have specified the categories of the components present in the normal atmosphere, because high school students are expected to mention them specifically, especially regarding well-known components such as nitrogen, oxygen or carbon dioxide (Skamp *et al.*, 2004).

To analyse the nature of polluted air, we used students' answers to both questions A and B as data. However, for the sake of capturing the ideas on the structure of polluted air, we have only used the answers to question B, in which students have to report their views on the continuity and scale of polluted air.

For each dimension, students' ideas were categorized according to the different categories of Table 1. Following this analysis, each student was coded with one category related to the subdimensions continuity of matter, scale of matter and number of present components. However, each student could be categorized with more than one category related to the components present in the air, because they are not mutually exclusive.

When it was necessary quantitative methods were used and, in particular, co-occurrence analysis. For each dimension, the co-occurrence analysis cross the two subdimensions defined in Table 1 in order to identify relations among them.

To increase the reliability of the analysis and to reduce researcher bias, an investigator triangulation of category assignment by the three authors was used (Carter *et al.*, 2014; Cohen, Lawrence, Morrison, 2018). The first author made an initial categorization and selected a representative sample of students' representations to share and discuss with the other authors.

Table 1 Categories used to codify students' representations of air with pollution in terms of its structure and its nature

| Subdimension   | Category   |   |
|--|--|---|
| Dimension: Students' ideas regarding the nature of polluted air<br>Type of components      | Components present in the normal atmosphere  | Representations that include the major components present in the normal atmosphere, such as nitrogen, oxygen or argon.<br><br>Representations that include secondary components present in the normal atmosphere, such as carbon dioxide.<br><br>Representations that include minority components present in the normal atmosphere, such as noble gases.  |
|  | Components not present in the normal atmosphere  | Representations that include components related to pathogens, viruses or bacteria.<br><br>Representations that include inert components related to human activity, such as components derived from industrial activity or traffic.<br><br>Representations that include inert components not directly related to human activity, such as pollen or dust.   |
|  | Number of components   | Representations that only include one component of air with or without pollution.   |
|  |  | Representations that include more than one component of air with or without pollution.  |
|  | Subdimension   | Category  |
| Dimension: Students' ideas regarding the structure of polluted air<br>Continuity of matter | Continuous visions: representations in which air with or without pollution is represented as a continuous substance with no underlying structure.<br><br>Semicontinuous visions: representations in which air with or without pollution is represented as a continuous substance with small particles embedded, understanding the term 'particle' in a broad form (particle with the same characteristics as the substance, molecules, atoms, <i>etc.</i> ). |   |
|  | Discontinuous representations: representations in which air with or without pollution is represented as small particles, understanding the term 'particle' in a broad form (particle with the same characteristics as the substance, molecules, atoms, <i>etc.</i> ), without any supporting material between them.  |   |
|  | Scale of matter  | Macroscale representations: representations of air with and without pollution that refer to the structure of matter that can be observed with the naked eye, without the need to use a magnifier or a microscope, and closely connected to the human scale.<br><br>Mesoscale representations: representations of air with and without pollution that refer to particles, with or without the same characteristics as the substance, which could be seen with a magnifier or a microscope.<br><br>Atomic-molecular scale representations: representations of air with and without pollution that refer explicitly to atoms or molecules.<br><br>Subatomic scale representations: representations of air with and without pollution that refer explicitly to subatomic particles, such as electrons, protons or neutrons. |

When the categorization of this sample was agreed, the first author used the criteria established for the whole group.

## Results and discussion

### Students' ideas regarding the nature of polluted air

In terms of nature of polluted air, the target model expected in final students' productions includes representations with more than one component and a diversity of components as large as possible (*e.g.* polluted air as a mixture of gases, including gases present in normal air, gases associated with human activity and PM).

Regarding the number of components of polluted air, initial productions include representations of polluted air as a single substance (41%) and representations of polluted air as a mixture of substances (50%), with 9% of students not addressing the nature of polluted air in their representations (see Fig. 2). After the TLS, it is remarkable that all students' productions specify components of polluted air. Although

representations that present polluted air as a mixture of substances increased to 64%, productions showing polluted air as a single substance still amounted to 36%. These results agree with previous findings which signal the challenge of understanding air, and consequently polluted air, as a mixture (Skamp *et al.*, 2004).

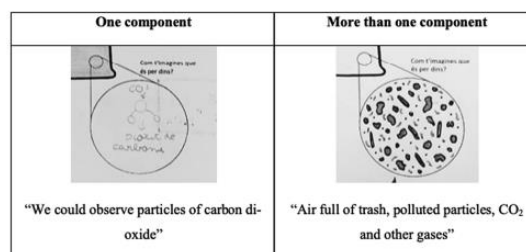


Fig. 2 Example of students' representations and their explanations regarding the "Number of components present" subdimension.

| Components present in normal atmosphere                                   |   |  |
|---|---|--|
| Major components  | Secondary components  | Minority components                        |
| <p>"Carbon dioxide, <b>oxygen</b>, <b>nitrogen</b>, <b>particles</b>"</p> | <p>"Oxygen, trash, viruses and bacteria, <b>carbon dioxide</b>"</p> | <p>"CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>"</p> |

Fig. 3 Examples of students' representations and their explanations regarding the "Components present in normal atmosphere" subdimension. Keywords marked in bold written in these representations were used to categorize.

Regarding the components present in polluted air, in initial representations only 16% include at least one component present in normal atmosphere. This idea agrees with Thornber *et al.* (1999), who point out that students understand air pollution as extra things in the air which are not usually there, forgetting the components of normal air, such as nitrogen and oxygen. After the TLS, this number increases and 28% of representations include components present in normal atmosphere.

A deeper analysis about these components shows that, initially, 30% of representations include secondary components, which are basically CO<sub>2</sub>, and only 16% of representations include major components such as nitrogen or oxygen (see Fig. 3). Such representations are coherent with the common idea that air pollution is basically CO<sub>2</sub>, due to its relation with global warming. After the TLS, the number of representations which include major components almost doubles (29%). Also, the number of representations which include secondary or minor components increases (37% secondary components and 15% minority components). It can be observed that there is an increase in students' productions that include gases present in normal atmosphere when representing polluted air, which shows that air pollution is not being understood as something that replaces normal air.

On the other hand, in polluted air we have to consider those components which are not present in normal atmosphere (such as those produced by human activities, pathogens or other pollutants not related to human activities). Initially, 20% of representations include components related to human activity, such as industry or traffic smoke, which according to previous

| Components not present in normal atmosphere |  |   |
|---|--|---|
| Pathogens, viruses and bacteria             | Inert components related to human activity | Inert components not directly related to human activity |
| <p>"In polluted air there are bacteria"</p> | <p>"Smoke and diesel waste"</p>            | <p>"Mud and dust"</p>                                   |

Fig. 4 Examples of students' representations and their explanations regarding the "Components not present in normal atmosphere" subdimension.

research are the main air pollutants declared by students (Pruneau *et al.*, 2005). Also, there are some representations that include pathogens (11%) and other components not related to human activity (8%) (see Fig. 4). After the TLS, the number of representations which include air pollutants related to human activity increases to 41%, with these types of pollutant being the main component included in students' representations of polluted air. Final representations which include pathogens or components not related to human activity are anecdotal. Despite the fact that usually pathogens, viruses and bacteria are not considered as air pollutants in traditional research studies, the context of the Sars-Cov-2 pandemic could have affected students' perception.

Additionally, we have to mention that almost the same number of representations at the beginning (32%) and after the TLS (39%) do not specify the exact origin of polluted air, for example writing that 'polluted air is made up of polluted/dirty particles' or 'made up of dirty air'. The fact that "particle" is a well-recognized polysemic concept (Bucat and Mocerino, 2009), particularly in the topic of air pollution (PMs are particulate matter but the air is also made up of a different scale of particles) (Solé *et al.*, 2020), could be one of the reasons why the number of representations, even after the TLS, is large.

The co-occurrence analysis crossing students' views of the number and type of components present in polluted air is included in Fig. 5. Percentages of initial and final representations for each category are shown in light and dark grey, respectively.

The co-occurrence analysis shows that the number of representations that mention the same polluted air or polluted particles as the only component of polluted air is maintained before and after the TLS. However, we observe a decrease of representations in which polluted air is only made up of CO<sub>2</sub>, overcoming one of the common misconceptions related to air pollution.

In representations which include more than one component, the final productions are richer than the initial ones for two

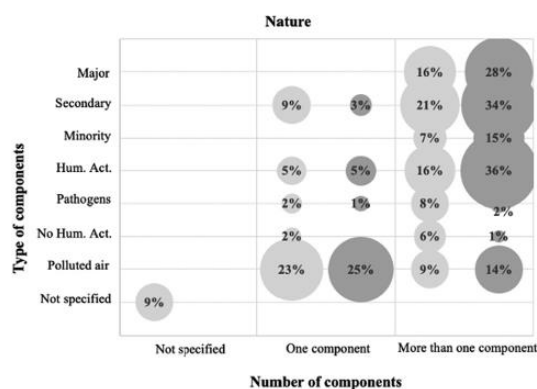


Fig. 5 Co-occurrence analysis between the components present and the number of components of the nature of initial and final students' representations. Percentages of initial and final representations for each category are shown in light and dark grey, respectively.

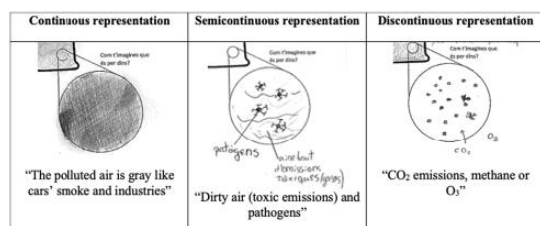


Fig. 6 Examples of students' representations and their explanations regarding the "Continuity of matter" subdimension.

reasons. Regarding the components present in normal atmosphere, in final representations there is an increase in major, secondary and minority components presented, breaking with the idea that air pollution is something that replaces normal air. Furthermore, there is an increase in representations which mention human activities as a source of air pollution. Otherwise, after the implementation, pathogens and viruses and components not related to human activity mostly disappear in agreement with the fact that these two possible forms of air pollution are not addressed in the TLS.

#### Students' ideas regarding the structure of polluted air

In order to establish the structure of polluted air we have analysed the answers to question B. That question was expected to appeal to students' ideas about continuity and scale compatible with a particulate model of matter. In terms of structure, the target model expected in final representations considers polluted air as a semicontinuous entity at the mesoscale (*e.g.* air in the background with PM in it) or, otherwise, representations that show polluted air as a discontinuous entity at the atomic-molecular scale (*e.g.* molecules of some gases and PM with no underlying structure).

Regarding continuity, before and after the TLS the majority of students represent polluted air in semicontinuous (42% in initial and 46% in final representations) or discontinuous forms (41% in initial and 44% in final representations) (see Fig. 6), and there is no essential change between pre and post representations. As such, the air pollution phenomenon *per se* is shown to be a powerful context in which students, even before the TLS, represent matter in non-continuous forms,

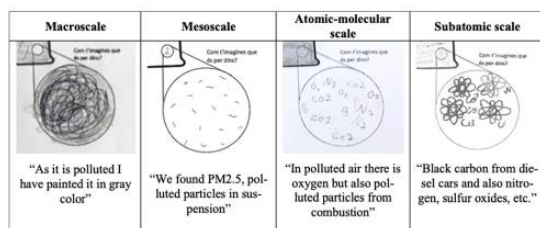


Fig. 7 Examples of students' representations and their explanations regarding the "Scale of matter" subdimension.

avoiding the view of continuity that is a common misconception in the field (Talanquer, 2009). Furthermore, after the TLS there is a decrease in students who represent polluted air as a continuous substance, from 17% to 7%, showing a sophistication of the ideas according to the target model described.

Regarding the scale, the majority of students represent polluted air at the mesoscale before and after the TLS, showing an increase in this type of representations in their final productions (60% and 68%, respectively). Similarly, the number of representations at the atomic-molecular scale was maintained between initial (19%) and final (20%) productions. On the other hand, in initial productions 21% of students represent polluted air at the macroscale. However, in final productions this number had decreased to 8% of students (see Fig. 7). Despite the fact that in initial representations there is a large number of representations at the mesoscale, the TLS that is focused on PM air pollution seems to slightly increase the representations in which polluted air is represented at the mesoscale, sophisticating the representations from macroscale to mesoscale.

The co-occurrence analysis crossing students' views on both continuity and scale is included in Fig. 8 and allows a deeper understanding of the studied phenomenon. Initial representations are shown in light grey and final representations are shown in dark grey.

Semicontinuous representations at the mesoscale are predominant in both initial (36%) and final (41%) productions, being one of the options of the target model in terms of structure discussed above. The large number of representations in this configuration (semicontinuous at the mesoscale) suggests the need to go beyond macro-micro thinking (Meijer *et al.*, 2013), including meso thinking explicitly.

However, the number of students' productions at the mesoscale using discontinuous representations is also remarkable before and after the TLS. This includes, for example, representations showing PMs with no underlying substance such as air. Despite the fact that these representations are apparently more sophisticated, because they are discontinuous and overcome

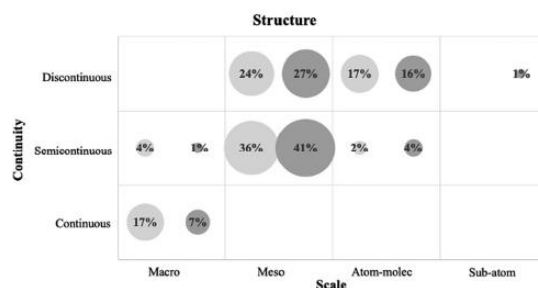


Fig. 8 Co-occurrence analysis between continuity and scale of the structure of the initial and final students' representations. Initial representations are shown in light grey and final representations are shown in dark grey.

## Paper

## Chemistry Education Research and Practice

one of the learning challenges of the particulate model of matter (Talanquer, 2009), the scale of representation (at the mesoscale instead of at the atomic-molecular scale) shows that there is an added challenge that has to be addressed. As we discussed in the literature review, these intermediate ideas could act as stepping stones to continue progressing towards a more sophisticated understanding of the particulate model of matter (Campbell *et al.*, 2016).

On the other hand, the major change from pre to post students' productions is the decrease in continuous representations at the macroscale. This suggests that the implementation of the TLS helped students to represent the inside of matter as non-continuous.

## Conclusions

Even though the particulate model of matter is one of the key scientific models and, as such, there is a great deal of research on students' ideas of matter, when these ideas are applied to a challenging new phenomenon at the mesoscale, such as air pollution caused by PMs, we still need further research about them. The independent analysis of the students' representations in terms of the nature and structure of polluted air allows us to understand better the main opportunities and obstacles of teaching and learning about this important phenomenon.

Although there is a difference between the nature of polluted air in students' representations before and after the TLS, the same level of improvement is not observed when analysing them in terms of structure. This implies that interventions able to help students to sophisticate their ideas regarding the nature of polluted air do not necessarily help them to sophisticate their ideas regarding its structure. For example, after the TLS a student could mention that polluted air is composed of nitrogen, oxygen, carbon dioxide and PMs, or even write these gases using molecular formulas ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ) but, at the same time, they could represent all these gases in a continuous manner. These results provide insights about the relationship between nature and structure of polluted air. Ideas related to the nature of polluted air are shown to be easier to learn in sophisticated ways than ideas related to its structure. Teaching and learning interventions that focused only on components of air pollution could not be expected to produce understandings regarding its structure. This is problematic because ideas related to the mesoscale and the particulate model of matter are crucial to understand the phenomenon and to act and design solutions to the problem, *e.g.* understanding why many councils recommend watering construction sites during air pollution episodes. Hence, to reflect with students about the submicro-, meso- and macro-scale and the continuity/discontinuity of matter at each scale when compared to the other should be an explicit aim in teaching interventions on this and related topics.

Our results show that some students' chemical representations and explanations present a lack of coherence among the

macro, micro and symbolic levels, as defined by Johnstone (1993). For example, a student who writes the molecular formula of oxygen " $O_2$ " (symbolic level) as a component of polluted air could be representing this substance at any scale (macro, meso or submicro). This means that students' expression of chemical formulas as symbolic representations is not necessarily related to these students' interpretation of matter at a submicroscopic level in terms of molecules or in terms of discontinuity (Taber, 2013a). Thus, in order to help students to sophisticate their ideas, teachers should go beyond the use of symbolic representations, and promote classroom discussions in terms of scale and continuity of polluted air.

Additionally, students' understandings of the mesoscale have been shown to be varied, including a range of different conceptions in which students could represent polluted air in semicontinuous or discontinuous forms. This is related to the fact that matter at the mesoscale has properties close to those at the macroscale (*e.g.* some PMs could be observed with a magnifier) but also properties close to the submicroscale (*e.g.* the movement of these PMs). The TLS focused on the behaviour of such PMs at the mesoscale included an activity where students have to order different images of different sizes, according to activities that research has shown to be successful to improve scale literacy (Gerlach *et al.*, 2014). The TLS was shown to be useful to decrease students' representations at the continuous and macroscale and to increase those representations at the mesoscale. However, the link between meso- and submicro-scale should be addressed in order to promote the ability to relate different scales. In accordance with the results, from a Design-Based-Research perspective (DBR Collective, 2003) a new version of the TLS was designed and published in an open-access repository (<https://ddd.uab.cat/record/201543?ln=ca>). As such, we consider that introducing phenomena at the mesoscale in secondary school is useful for students to test their ideas regarding the particulate model of matter, and this fact should be explicitly addressed with students.

Finally, the necessity to address these challenges in classrooms is not only because we have observed students' limitations in their ideas of sophisticated versions of the particulate model of matter. Apart from air pollution, there is a growing variety of phenomena that involve reasoning at the mesoscale, such as microplastics contamination (Raab and Bogner, 2021), nano devices (Tretter *et al.*, 2006) or the transmission of nanoparticles or viruses. Understanding all these relevant phenomena is part of students' scientific literacy and citizenship and requires a sophisticated understanding of the particulate model of matter that clearly focuses on both nature and structure at different scales.

## Conflicts of interest

There are no conflicts to declare.

## Appendix 1. Sequence of activities of the TLS in relation to the phase of the modelling cycle and the core ideas addressed

| Phase of the modelling cycle   | Core ideas   | Sequence of activities   |
|--|--------------|--|
| 1. Anchoring phenomenon  | Idea 1, 2, 3 | A1. The air pollution phenomenon is presented through a real news item entitled "Children exposed to air pollution in schools could have more risk of suffering overweight and obesity". The context of the project is presented and students are asked what they think about air pollution in general terms.  |
| 2. Asking for the explicit expression or use of their initial model                          |              | A2. Students are asked to draw and describe in written form the air from two hypothetical samples: one polluted and the other without pollution. They have to describe the samples as seen with the naked eye and how they imagine them inside.  |
| 3. Empirically testing the model   | Idea 1       | A3.1. In small groups, they are asked to compare the different explanations of clean air in order to test their ideas.   |
| 4. Generating new points of view<br>5. Facilitating the structure in a final consensus model |              | A3.2. The explanations of all small groups are shared and a final consensus model of clean air is structured.  |
| 1. Anchoring phenomenon  | Idea 2       | A4. To connect their ideas about clean air with polluted air, it is asked if they think that the air of their city is exactly as they explained in the previous activity.  |
| 2. Asking for the explicit expression or use of their initial model                          | Idea 2.1     | A5.1. An experiment to reproduce the combustion of a vehicle is proposed. In small groups, students have to burn a piece of paper and observe what happens with the watch glass above the smoke. Prior to reproducing the experiment, they are asked to think about their hypothesis and their explanations.   |
| 3. Empirically testing the model   |              | A5.2. The experiment is conducted and students have to observe what happened with the watch glass using a microscope. From the results observed, students are asked to reconstruct their ideas about what smoke is.  |
| 4. Generating new points of view   |              | A6. A video of how scientists study air pollution in cities is shown and an analogy with the experiment conducted is made.   |
| 4. Generating new points of view   | Idea 2.2     | A7. From the explanations made in A2 and an extract from a scientific paper, air pollution caused by gases is discussed.   |
| 4. Generating new points of view   | Idea 2.3     | A8. Is CO <sub>2</sub> an air pollutant in cities? From the air quality indicators shown on TV news (O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> and PM10 are shown as air quality indicators), it is discussed whether or not CO <sub>2</sub> is an air pollutant.   |
| 5. Facilitating the structure in a final consensus model                                     | Idea 2       | A9. To explain a final consensus model about air pollution.  |
| 4. Generating new points of view   | Idea 3.1     | A10. From an extract of a public understanding of science paper which explains the impact of PM on human health, we focus on what PM air pollution is like. In order to reflect on the scale and size of PM, students are asked to order some images according to the size of what is represented. These images include a grain of salt, a virus, the principal molecules which compose air, PM1 and PM10. |
| 5. Facilitating the structure in a final consensus model                                     |              | A11. After reflecting on the size of PMs, they are asked how it is possible that PMs are suspended in the air. A video of movement of solid particles that include increasing and decreasing magnifications is seen. Finally, with the guidance of the teacher, ideas related to PM are summarised.  |
| 2. Asking for the explicit expression or use of their initial model                          | Idea 3.2     | A12. Related to activity A10, they are asked what they think the effects of air pollution on human health are.   |
| 3. Empirically testing the model   |              | A13. Students are asked to classify the effects of air pollution expressed in the different human systems and the mechanism that they think causes the illness.  |
| 4. Generating new points of view<br>5. Facilitating the structure in a final consensus model |              | A14. After watching a video and reading part of a paper about the effects of air pollution on human health, students have to rewrite the previous activity with the new ideas.   |
| 5. Facilitating the structure in a final consensus model                                     | Idea 1, 2, 3 | A15. Students are asked to draw and describe in written form the air from two hypothetical samples: one polluted and the other without pollution. They have to describe the samples as seen with the naked eye and how they imagine them inside. Finally, students are asked to reflect on how their explanations have changed from activity A2.   |

## Acknowledgements

This research was conducted in the PhD Education program at the Universitat Autònoma de Barcelona and funded by

Spanish Government under the ESPIGA Project (PGC2018-096581-B-C21), the ACELEC group (2017SGR1399) and "la Caixa" Foundation (ID100010434) under the RecerCaixa program (2017ACUP00274). C. S. was supported by a

## Paper

predoctoral contract under the ESPIGA Project (PRE2019-087419).

## Notes and references

- Basagaña X., (2018), Els efectes de la contaminació en les persones: què en sabem I de què busquem evidències? *Ciències*, **35**, 28–34.
- Besson U. and Viennot L., (2004), Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: Two experimental interventions in solid friction and fluid statics, *Int. J. Sci. Educ.*, **26**(9), 1083–1110.
- Blanco Á. and Prieto T., (1996), Algunas cuestiones sobre la comprensión de la Química desde la perspectiva de las “ideas de los alumnos”, *Investigación En La Escuela*, **28**, 69–78.
- Boyes E., Myers G., Skamp K., Stanisstreet M. and Yeung S., (2007), Air quality: A comparison of students' conceptions and attitudes across the continents, *Compare*, **37**(4), 425–445.
- Bucat B. and Mocerino M., (2009), Learning at the Sub-micro Level: Structural Representations, in Gilbert J. and Treagust D. (ed.), *Multiple Representations in Chemical Education*, Dordrecht: Springer, pp. 11–29.
- Caamaño A., (2020), *Enseñar química. De las sustancias a la reacción química*, Barcelona: Graó.
- Campbell T., Schwarz C. and Windschitl M., (2016), What We Call Misconceptions May Be Necessary Stepping-Stones Toward Making Sense of the World, *Sci. Teach.*, **83**, 69–74.
- Carter N., Bryant-Lukosius D., Dicenso A., Blythe J. and Neville A. J., (2014), The use of triangulation in qualitative research, *Oncol. Nurs. Forum*, **41**(5), 545–547.
- Clement J., (2000), Model based learning as a key research area for science education, *Int. J. Sci. Educ.*, **22**(9), 1041–1053.
- Cohen L., Lawrence M. and Morrison K., (2018), *Research Methods in Education*, New York: Routledge.
- Cooper M., Stieff M. and DeSutter D., (2017), Sketching the Invisible to Predict the Visible: From Drawing to Modeling in Chemistry, *Top. Cogn. Sci.*, **9**(4), 902–920.
- Couso D. and Garrido-Espeja A., (2017), Models and Modelling in Pre-service Teacher Education: Why We Need Both, in Hahl K., Juuti K., Lampiselkä J., Uitto A. and Lavonen J. (ed.), *Cognitive and Affective Aspects in Science Education Research. Selected Papers from the ESERA 2015 Conference*, Dordrecht: Springer, pp. 245–261.
- Dimitriou A. and Christidou V., (2007), Pupils' understanding of air pollution, *J. Biol. Educ.*, **42**(1), 24–29.
- Driver R., Squires A., Rushworth P. and Wood-Robinson V., (1994), *Part III: Materials and their properties, Making sense of secondary science: Research into children's ideas*, London: Routledge, pp. 137–229.
- Duit R., (2007), Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research, *Eurasia J. Math. Sci. Technol. Educ.*, **3**(1), 3–15.
- Gerlach K., Trate J. M., Blecking A., Geissinger P. and Murphy K., (2014), Investigation of Absolute and Relative Scaling Conceptions of Students in Introductory College Chemistry Courses, *J. Chem. Educ.*, **91**, 1526–1537.
- Gilbert J. and Treagust D., (2009), Introduction: Macro, Sub-micro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education, in Gilbert J. and Treagust D. (ed.), *Multiple Representations in Chemical Education*, Dordrecht: Springer, pp. 1–8.
- Gkitzia V., Salta K. and Tzougraki C., (2020), Students' competence in translating between different types of chemical representations, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **21**(1), 307–330.
- Hadenfeldt J. C., Liu X. and Neumann K., (2014), Framing students' progression in understanding matter: a review of previous research, *Stud. Sci. Educ.*, **50**(2), 181–208.
- Harlen W., (2010), *Principles and Big Ideas of Science Education*, Hatfield: Association for Science Education.
- Harrison A. G. and Treagust D., (2002), The Particulate Nature of Matter: Challenges in Understanding the Submicroscopic World, in Gilbert J., De Jong O., Justi R., Treagust D. and Van Driel J. (ed.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 189–212.
- Hernández M. I., Couso D. and Pintó R., (2015), Analyzing Students' Learning Progressions Throughout a Teaching Sequence on Acoustic Properties of Materials with a Model-Based Inquiry Approach, *J. Sci. Educ. Technol.*, **24**, 356–377.
- Izquierdo-Aymerich M. and Adúriz-Bravo A., (2003), Epistemological Foundations of School Science, *Sci. Educ.*, **12**, 27–43.
- Johnstone A. H., (1993), The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand, *J. Chem. Educ.*, **70**(9), 701–705.
- Kolb S., (2012), Grounded Theory and the Constant Comparative Method: Valid Research Strategies for Educators. *J. Emerg. Trends Educ. Res. Policy Stud.*, **3**(1), 83–86.
- Liu X. and Lesniak K., (2006), Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school, *J. Res. Sci. Teach.*, **43**(3), 320–347.
- Mandrikas A., Stavrou D. and Skordoulis C. (2017), Teaching Air Pollution in an Authentic Context, *J. Sci. Educ. Technol.*, **26**(2), 238–251.
- Meijer M., Bulte A. and Pilot A., (2009), Structure–Property Relations Between Macro and Micro Representations: Relevant Meso-levels in Authentic Tasks, in Gilbert J. and Treagust D. (ed.), *Multiple Representations in Chemical Education*, Dordrecht: Springer, pp. 195–213.
- Meijer M., Bulte A. and Pilot A., (2013), Macro–Micro Thinking with Structure–Property Relations: Integrating ‘Meso-levels’ in Secondary Education, in Tsaparlis G. and Sevan H. (ed.), *Concepts of Matter in Science Education. Innovations in Science Education and Technology*, Dordrecht: Springer, pp. 419–436.
- Myers G., Boyes E. and Stanisstreet M., (2004), School students' ideas about air pollution: Knowledge and attitudes, *Res. Sci. Technol. Educ.*, **22**(2), 133–152.
- Oh S. P. and Oh S. J., (2011), What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview, *Int. J. Sci. Educ.*, **33**(8), 1109–1130.
- Osborne J., (2014), Teaching scientific practices, *J. Sci. Teach. Educ.*, **25**, 177–196.
- Pruneau D., Richard J. F., Langis J., Albert G. and Cormier M., (2005), The evolution of children's ideas on pollution in the

## Chemistry Education Research and Practice

- framework of experiential and socioconstructivist activities, *Int. J. Environ. Sustainable Dev.*, **4**(1), 17–34.
- Raab P. and Bogner F., (2021), Conceptions of university students on microplastics in Germany, *PLoS One*, **16**(9), 1–25.
- Rea-Ramirez M. A., (2008), Determining Target Models and Effective Learning Pathways for Developing Understanding of Biological Topics, in Clement J. and Rea-Ramirez, M. A. (ed.), *Model Based Learning and Instruction in Science*, Dordrecht: Springer, pp. 45–58.
- Schwarz C. V., Reiser B. J., Davis E. A., Kenyon L., Achér A., Fortus D., Shwartz Y., Hug B. and Krajcik J., (2009), Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners, *J. Res. Sci. Teach.*, **46**(6), 632–654.
- Skamp K., Boyes E. and Stainstreet M., (2004), Students' Ideas and Attitudes about Air Quality, *Res. Sci. Educ.*, **34**, 313–342.
- Solé C., Tena È. and Couso D., (2020), ¿Qué modelo de materia explica la contaminación? Explorando el modelo corpuscular en la mesoescala. *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, **101**, 30–36.
- Taber K. S., (2013a), Revisiting the chemistry triplet: Drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **14**(2), 156–168.
- Taber K. S., (2013b), *Modelling Learners and Learning in Science Education*, Dordrecht: Springer.
- Talanquer V., (2009), On cognitive constraints and learning progressions: The case of “structure of matter”, *Int. J. Sci. Educ.*, **31**(15), 2123–2136.
- Tena È. and Couso D., (2021), What Is City Air Made of? An Analysis of Pupils' Conceptions of Clean and Polluted Air, in Levrini O. (ed.), *Engaging with Contemporary Challenges through Science Education Research*, Dordrecht: Springer, pp. 133–148.
- Tretter T., Jones M., Andre T., Negishi A. and Minogue J., (2006), Conceptual boundaries and distances: Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena. *J. Res. Sci. Teach.*, **43**(3), 282–319.
- The Design-Based Research Collective, (2003), Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry, *Educ. Res.*, **32**(1), 5–8.
- Thornber J., Stanisstreet M. and Boyes E., (1999), School Students' Ideas about Air Pollution: Hindrance or Help for Learning? *J. Sci. Educ. Technol.*, **8**(1), 67–73.
- van Berkel B., Pilot A. and Bulte A., (2009), Micro-Macro Thinking in Chemical Education: Why and How to Escape, in Gilbert J. and Treagust D. (ed.), *Multiple Representations in Chemical Education*, Dordrecht: Springer, pp. 31–54.
- Vilardo D., MacKenzie A. and Yezierski E., (2017), Using Students' Conceptions of Air To Evaluate a Guided-Inquiry Activity Classifying Matter Using Particulate Models, *J. Chem. Educ.*, **94**(2), 206–210.
- Windschitl M., Thompson J. and Braaten M., (2008), Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations, *Sci. Educ.*, **92**(5), 941–967.
- World Health Organization, (2021), *Air pollution*, [online], available at: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution> [accessed 20 December 2021].



---

**SECCIÓ III. CONCLUSIONS, IMPLICACIONS  
I LIMITACIONS DE LA RECERCA**

---



## 6. Conclusions, implicacions i limitacions de la recerca

En aquesta secció es presenten les principals conclusions, contribucions i limitacions de la recerca duta a terme en aquesta tesi doctoral que té per objectiu aportar a la caracterització de les iniciatives de ciència ciutadana que passen dins d'escoles i instituts en contextos d'educació formal, aprofundint en l'estudi del disseny i l'avaluació d'una SEA que acompanya una iniciativa de ciència ciutadana escolar.

Degut a que en el cos dels articles recollits en aquest compendi de publicacions es presenten les conclusions pròpies de cadascuna de les preguntes de recerca abordades, en aquesta secció es presenten les conclusions globals per cadascun dels estudis de la tesi, així com conclusions transversals entre ambdós. Cadascuna de les conclusions es troba escrita en forma d'enunciat, acompanyada d'un desenvolupament que situa la conclusió en el coneixement actual i apunta implicacions de la recerca realitzada.

De la mateixa manera, en l'última secció s'apunten limitacions de la tesi de forma general, així com futures línies o qüestions que queden obertes a partir de la recerca presentada en aquest document.

### 6.1. Conclusions sobre la caracterització d'iniciatives de ciència ciutadana en context escolar

- i. **Les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar presenten objectius educatius diversos, tot i que són poques les que pretenen aportar tant al desenvolupament de la competència científica de l'alumnat com a la millora del seu posicionament positiu vers les STEM.**

La revisió sistemàtica de les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar ens ha permès identificar que, tot i l'aparent diversitat en els objectius educatius de les propostes (la conscienciació sobre problemàtiques sociocientífiques, el desenvolupament de continguts conceptuals, pràctiques científiques o idees relacionades amb la naturalesa de la ciència o la millora del posicionament vers les ciències), són poques les que apel·len tant a aspectes relacionats amb el desenvolupament de la competència científica de l'alumnat, com a la millora del seu posicionament vers les ciències (Nivell 3 de la contribució de la iniciativa a l'alumnat).

Això contrasta amb el fet que la literatura prèvia sobre ciència ciutadana en contextos educatius identifiquen aquests com els dos grans potencials objectius d'aquest tipus d'iniciatives (Kelemen-Finan et al., 2018; Phillips et al., 2018), alhora que també la literatura en didàctica de les ciències apunta la necessitat de combinar aspectes competencials o d'alfabetització científica amb aspectes afectius i actitudinals (Couso et al., 2022; OECD, 2023). En conseqüència, considerem que aquelles iniciatives de ciència ciutadana que es plantegin que les persones participants siguin alumnes en contextos d'educació formal han de tenir en compte aquests dos objectius de forma clara i explícita.

**ii. En la majoria d'iniciatives la contribució de l'alumnat a l'assoliment dels objectius científics es vehicula a través de la seva participació en la recollida de dades, malgrat els seus diferents objectius educatius.**

En dos dels quatre perfils d'iniciatives de ciència ciutadana en context escolar que hem definit (al perfil 'Alumnat ajudant a la ciència' i al perfil 'Alumnat aprenent ciència recollint dades'), l'alumnat només contribuïa a l'assoliment dels objectius científics a través de la recollida de dades. A més a més, aquests dos perfils són els més comuns de manera que la majoria d'iniciatives de ciència ciutadana escolar es troben en un nivell on la participació i contribució de l'alumnat a la ciència és molt baixa (Nivell 1). Aquest fet contrasta amb la literatura sobre ciència ciutadana que, d'una banda, apunta la necessitat d'anar més enllà de que el públic participi en la recollida de dades i avançar cap a iniciatives on la contribució es doni en més fases del procés de disseny d'una recerca científica (Bonney et al., 2009). D'altra banda, aquest resultat està d'acord amb autors com Senabre i col·legues (2018) que apunten que malgrat l'elevat nombre de guies facilitadores per al disseny d'iniciatives que tinguin en compte la contribució del públic en diferents fases de la recerca, això no es dona en la majoria d'iniciatives.

Considerem que aquesta conclusió té algunes implicacions rellevants per a l'aula de ciències. Mostrar la ciència com només recollida de dades pot promoure visions naïfs de la naturalesa de l'empresa científica, que no tenen en compte la seva dimensió històrica, social i cultural (Erduran & Dagher, 2014) ni la seva naturalesa model·teòrica (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003). Això també pot portar una visió simplista de l'esfera de l'activitat científica que no té en consideració altres aspectes com fer-se preguntes, desenvolupar i utilitzar models, planificar investigacions,

analitzar i interpretar dades, utilitzar el pensament matemàtic i computacional, construir explicacions i arguments d'acord amb les proves, així com avaluar i comunicar la informació (NRC, 2012). En conseqüència, aquelles iniciatives de ciència ciutadana en context escolar en les que l'alumnat només participi en la recollida de dades caldrà que afrontin aquests reptes, per exemple, a través de materials didàctics i seqüències d'ensenyament-aprenentatge que situïn la recerca en el seu context històric, social i cultural, i permetin acompanyar la participació amb altres activitats que ofereixin una visió més completa de l'activitat científica. Una possibilitat seria incorporar activitats de simulació d'una participació més enriquida de l'alumnat a la ciència, com ara “quines altres preguntes de recerca seria interessant fer-nos?” o “quines altres formes d'investigar aquest fenomen se'ns acudeixen?”.

**iii. Les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar destinen molts recursos a que l'alumnat participi de la ciència, però aquests no estan equilibrats amb els recursos perquè l'alumnat aprengui de i sobre ciències.**

En les iniciatives analitzades hem pogut observar que, indistintament del perfil de les iniciatives, els recursos i suports (en format de col·laboració, formació o recursos materials) destinats a la missió científica són més, més diversos i de més qualitat que aquells destinats a la missió educativa, sent aquests inexistent en alguns casos. Aquesta diferència entre recursos científics i educatius contrasta amb el consens existent a la literatura sobre la importància tant d'assolir els objectius científics com que les persones participants en surtin beneficiades a través d'oportunitats d'aprenentatge (ECSA, 2015), i en conseqüència, la necessitat de disposar de recursos per ambdós objectius. Malgrat que hi ha autors que han identificat que en context escolar un dels elements clau per a l'èxit de les iniciatives de ciència ciutadana és l'existència de materials educatius connectats al currículum, així com suport al professorat per a la seva implementació (Kloetzer et al., 2021), Bonney i altres (2016), en consonància amb els resultats trobats, posen de manifest que hi ha iniciatives que assumeixen que els objectius educatius s'assoliran a partir de la pròpia participació, sense la necessitat de recursos explícits amb aquesta finalitat. Tanmateix, aquesta assumpció parteix d'una visió superficial de l'educació i que no té en compte els resultats de recerca en educació ni en didàctica de les ciències. En conseqüència, un dels principals reptes és equilibrar l'expertesa de qui dissenya les iniciatives de ciència

ciudadana en context escolar per tal de poder garantir qualitat tant respecte la vessant científica com respecte la vessant educativa.

Si ens focalitzem en la vessant educativa, considerem que cal posar atenció en quins són els recursos que s'ofereixen a les aules per dur a terme iniciatives de ciència ciutadana, que tinguin en compte tant l'acompanyament i formació als i les docents participants, com materials didàctics que siguin de qualitat. A més a més, establir col·laboracions autèntiques entre l'equip científic i l'alumnat pot oferir escenaris rics per promoure visions no estereotipades de les persones que es dediquen professionalment a la ciència sota una perspectiva de gènere i equitat.

**iv. Els perfils d'iniciatives de ciència ciutadana en context escolar es poden ordenar en un continu, de menys a més participatives.**

L'anàlisi de totes les iniciatives identificades a la revisió sistemàtica ens ha permès identificar 4 perfils d'iniciatives de ciència ciutadana en context escolar, però que podrien formar part d'un espectre continu d'iniciatives ordenades de menys a més participatives. A l'extrem menys participatiu, potser inclús fora d'aquest continu, situem les iniciatives del perfil 'Alumnat utilitzant la ciència', que en la seva majoria es podrien considerar iniciatives exclusivament de ciència escolar (Izquierdo et al., 1999). Aquestes iniciatives, tot i sovint ser de molta qualitat educativa (busquen que l'alumnat dugui a terme una recerca en el seu context educatiu) usualment redueixen la participació en la ciència professional a una col·laboració amb equips científics, generalment per tal de promoure un millor posicionament cap a les ciències.

A l'altre extrem, es situaria el perfil 'Alumnat aprenent ciència actuant com a científics/ques' on l'alumnat participa en més d'una fase de la recerca científica. Malgrat que aquest últim cas, seria el desitjable segons la literatura (Senabre et al., 2018), trobem que és el que menys s'ha donat en els casos estudiats. De fet, una iniciativa on l'alumnat participes en totes les fases de la recerca es podria considerar com a ciència ciutadana "extrema" (Haklay, 2017), en requerir importants esforços de coordinació i una elevada inversió tant en personal com en temps. Això fa que, tot i existir teòricament, siguin difícilment viables a nivell científic i escolar, tant per la diferència de ritmes entre les dues activitats (la ciència ha de ser ràpida i aprendre és lent) com per raons econòmiques, logístiques i curriculars, entre altres.

Entremig d'aquests dos extrems es situarien les iniciatives de ciència ciutadana escolar més comunes, que engloben els dos perfils 'Alumnat ajudant a la ciència' i 'Alumnat aprenent ciència recollint dades'. Aquestes iniciatives poden permetre més o menys participar i el seu potencial educatiu es definirà per la qualitat tant dels objectius educatius com dels suports i recursos oferts.

**v. Les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar requereixen tenir en compte la seva dimensió educativa per a la seva classificació.**

La caracterització dels perfils de les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar, i especialment la identificació de la qualitat de les diferents dimensions de cadascuna d'elles, ens ha permès observar que diferents iniciatives en les que l'alumnat contribuïa a la recerca de maneres similars (p. ex. analitzant dades) diferien en quant a la seva potencial qualitat educativa. Aquest fet és especialment interessant ja que és usual que les iniciatives de ciència ciutadana es classifiquin només segons la participació del públic (Bonney et al., 2009; Serrano et al., 2014), i en conseqüència, no recullin aquesta dimensió. Així, considerem que en el cas de la ciència ciutadana que és duu a terme en context d'educació formal cal tenir en compte tant quina és la participació de l'alumnat a la iniciativa com quins són els objectius d'aprenentatge i la qualitat de les activitats proposades per contribuir a l'alumnat.

## **6.2. Conclusions sobre el disseny i l'avaluació d'una SEA en el context d'una iniciativa de ciència ciutadana escolar**

**vi. El procés de reconstrucció educativa pren especial rellevància en contextos de ciència emergent.**

El Model de Reconstrucció Educativa (Duit et al., 2005) s'ha mostrat com una estratègia útil per a la definició dels principis, elements i eines de disseny de la SEA en les diferents dimensions (epistemològica/epistèmica, contextual/fenomenològica, la psicològica i emocional) proposades per Jiménez-Liso i altres (2023), d'acord amb la literatura prèvia. En contextos de ciència emergent aquesta reconstrucció educativa permet clarificar el contingut a ser ensenyat i après, de forma que tingui connexió curricular i es reconstrueixin les idees científiques en forma de models científics escolars sofisticats per explicar els nous fenòmens. En el nostre cas, l'ús del fenomen de la contaminació atmosfèrica per al disseny de la SEA ens ha permès identificar un

repte que requeria d'un aprenentatge profund sobre el model d'estructura de la matèria, ja que per explicar el fenomen i pensar possibles solucions es requeria entendre'l a escala macro, meso i submicro. Aquest fenomen ens ha permès treballar amb l'alumnat l'aplicació del model matèria en diferents escales (Gerlach et al., 2014) i aprofundir en la mesoescala (Meijer et al., 2013), que són dos grans reptes que apunta la literatura en relació amb l'ensenyament i aprenentatge d'aquest model. Així, estem d'acord en que per tal de dissenyar una SEA amb activitats epistèmicament riques cal tenir en compte la potencialitat del fenomen a estudiar, triant aquells que requereixin el desenvolupament de models científics escolars sofisticats com a part del context. Per a la tria d'aquests fenòmens i la clarificació del contingut considerem que pot ser útil la combinació de diferents experteses entre equips experts en el fenomen i equips experts en didàctica de les ciències.

**vii. La visió de l'Activitat Científica Escolar i les pràctiques científiques és especialment adient per al disseny de SEAs en el context d'iniciatives de ciència ciutadana.**

La perspectiva de l'Activitat Científica Escolar (Izquierdo et al., 1999) i les pràctiques científiques (Osborne, 2014), que ha guiat el disseny de la SEA, s'ha mostrat especialment adient en el cas del disseny d'una iniciativa de ciència ciutadana escolar perquè ambdós propostes comparteixen l'objectiu que l'alumnat aprengui ciència participant de la ciència, i s'ha mostrat eficaç perquè l'alumnat aprengui idees científiques complexes, confirmant així la nostra proposta teòrica inicial. Per exemple, hem vist que al participar de la SEA l'alumnat ha sofisticat les seves idees en relació amb la natura i l'estructura de la matèria a nivell macro, meso i submicro. A més a més, en altres recerques en el mateix context de la contaminació atmosfèrica, aquesta perspectiva també s'ha mostrat eficaç perquè l'alumnat aprengui idees relacionades amb la indagació, per exemple, sobre el disseny de preguntes investigables (Tena & Couso, 2023b). Així, considerem que les iniciatives de ciència ciutadana no només poden ser escenaris idonis per a conscienciar sobre una problemàtica, o millorar el posicionament vers les ciències, sinó també per aprendre idees profundes de ciències i desenvolupar la competència científica de l'alumnat.

**viii. L'avaluació de la SEA ens permet identificar si el potencial educatiu de les iniciatives de ciència ciutadana escolar s'assoleix.**

Hem identificat que les iniciatives de ciència ciutadana escolar tenen potencial per al desenvolupament de la competència científica de l'alumnat i del posicionament vers les ciències, sobre tot en els perfils 'Alumnat aprenent ciència recollint dades' i 'Alumnat aprenent ciència fent de científics/ques', sempre i quan desenvolupen la dimensió educativa amb la màxima qualitat. En aquests casos d'acord tant amb la literatura sobre ciència ciutadana (Kloetzer et al., 2021; Stylinski et al., 2020) com amb la literatura en didàctica de les ciències (Guisasola et al., 2017; Hernández, 2018; Romero-Ariza, 2014) cal, doncs, avaluar de forma rigorosa si aquest potencial aprenentatge té lloc. En canvi, això contrasta amb el fet que sovint les avaluacions d'aquest tipus d'iniciatives només inclouen aspectes relacionats amb la millora del posicionament STEM i qüestions relacionades amb les habilitats d'indagació, però no amb l'aprenentatge conceptual d'idees de la ciència (Phillips et al., 2018; Queiruga-Dios et al., 2020). Considerem doncs, que en iniciatives que tenen lloc en context escolar i amb objectius educatius, cal avaluar de forma rigorosa i sistemàtica si l'alumnat aprèn ciències, i per tant es pot fer ús de les eines i estratègies de les que disposem per avaluar qualsevol iniciativa educativa. Per exemple, fent ús del marc d'avaluació de seqüències d'ensenyament i aprenentatge proposat per Tena i Couso (2023), en aquesta tesi ens hem centrat en l'avaluació de la confiabilitat de la SEA, i concretament en l'avaluació de l'Eficàcia Nivell 2, és a dir, la relació entre els objectius d'aprenentatge que s'esperaven i els resultats d'aprenentatge obtinguts en relació amb l'aprenentatge del model matèria a la mesoescala.

### 6.3. Conclusions transversals

**ix. Una iniciativa de ciència ciutadana escolar ha de contribuir al desenvolupament de nou coneixement científic, però també pot contribuir al desenvolupament de nou coneixement didàctic.**

Quan les iniciatives de ciència ciutadana equilibren tant la dimensió científica com la dimensió educativa i els equips investigadors dissenyen i investiguen en relació amb les dues dimensions, observem que es poden fer aportacions tant a la ciència experimental com a la didàctica de les ciències. Per exemple, arrel de la recerca duta a

terme en el context del Projecte Atenció hem pogut veure que la contaminació de l'aire no té efectes a curt termini sobre l'atenció dels i les adolescents (contribució a la dimensió científica) (Gignac et al., 2021) i que és més difícil fer avançar idees en relació amb l'estructura de la matèria que en relació amb la natura de la matèria (contribució a la dimensió educativa) (Solé et al., 2022). Així, en consonància amb els principis de la ciència ciutadana proposats per l'ECISA (2015), la ciència ciutadana ha de contribuir al desenvolupament de nou coneixement científic, i a més a més, la ciència ciutadana escolar també pot contribuir al desenvolupament de nou coneixement didàctic.

**x. Les SEAs poden dotar les iniciatives de ciència ciutadana escolar d'una major sostenibilitat en el temps.**

El disseny i implementació de SEAs en iniciatives de ciència ciutadana és una estratègia eficaç per transformar iniciatives de ciència ciutadana que sí que buscaven contribuir a objectius científics en iniciatives del perfil 'Alumnat utilitzant la ciència', un cop la missió científica s'ha assolit. Aquesta proposta pot aportar a un dels reptes que assenyalava la literatura respecte la sostenibilitat en el temps de les iniciatives de ciència ciutadana (Land-Zandstra et al., 2021), transformant iniciatives de ciència ciutadana escolar en iniciatives de ciència escolar. Aquestes tenen potencial per replicar a l'escola (sense necessitat d'aportar a la construcció de nou coneixement científic professional) l'activitat científica amb l'objectiu que l'alumnat aprengui de i sobre ciència. Per exemple, en el cas de la iniciativa Projecte Atenció, un cop acabada, molts instituts han seguit fent ús del material educatiu, posant més èmfasi en el disseny i la implementació d'una recerca local sobre els nivells de qualitat de l'aire a l'institut a través de l'ús de sensors de PM. De la mateixa manera, la SEA del Projecte Atenció ha servit per al disseny de noves iniciatives d'Open Schooling', com el material educatiu del Projecte MULTIPLIERS.

### **6.3. Limitacions i futures línies de recerca**

A continuació, apuntem algunes limitacions de la recerca presentada en aquesta tesi doctoral de forma global pels dos estudis, així com futures línies de recerca que s'obren a partir d'aquestes i dels resultats obtinguts.

En primer lloc, cal tenir en compte que en aquesta tesi ens hem centrat en l'estudi de les iniciatives de ciència ciutadana en context escolar, sobretot, des de la perspectiva educativa. Així, el marc proposat per a l'avaluació de la qualitat no exclou altres possibles perspectives que tinguin en compte altres indicadors relacionats amb la participació ciutadana o l'assoliment dels objectius científics, i que poden ser complementaris. Creiem doncs, que cal seguir treballant conjuntament amb equips investigadors en ciències experimentals, equips de comunicació científica i professorat per a l'elaboració de marcs que tinguin en compte els diferents agents involucrats en la ciència ciutadana escolar des d'una perspectiva reflexiva i crítica per assolir qualitat a nivell més global.

En segon lloc, en aquesta tesi, tant per qüestions metodològiques (al triar fer l'estudi de la caracterització de les iniciatives de ciència ciutadana a partir de la informació que els equips científics han inclòs dins d'articles publicats en revistes d'impacte), com per la recerca al voltant del Projecte Atenció, totes les iniciatives analitzades estaven dirigides per part d'equips investigadors. Això pot excloure algunes iniciatives de ciència ciutadana en les que la participació de l'alumnat no està lligada a cap temps o espai concret, per exemple, iniciatives que posen a disposició del públic apps o altres eines per a la recollida de dades, i que per tant, és el professorat que per compte propi decideix involucrar-se en elles, i que també podrien ser d'interès per a la ciència escolar. En aquest sentit, seria interessant seguir investigant sobre l'aplicació de les eines desenvolupades en aquesta tesi en iniciatives vigents i locals, per exemple, a través del Hub de Ciència Ciutadana de la Universitat Autònoma de Barcelona o la Oficina de Ciència Ciutadana de Barcelona.

D'altra banda, en aquesta tesi ens hem posicionat en un marc de disseny i avaluació de la SEA, tot i que no en un marc de Recerca Basada en el Disseny (DBR Collective, 2003). Aquesta perspectiva podria aportar tant a la teoria de disseny com a la recerca sobre els processos que han portat a la millora de les idees de l'alumnat que s'han mostrat en aquesta tesi, i creiem que té potencial en futures recerques per fer moltes aportacions al marc de la ciència ciutadana escolar. Per fer-ho, considerem que caldria afrontar alguns reptes com els temps dels projectes de ciència ciutadana o l'equilibri entre el pes i els recursos destinats a la dimensió educativa i la científica per tal de garantir la viabilitat de les dues dimensions.

En la mateixa línia, en aquesta tesi només hem avaluat l'Eficàcia Nivell 2 de la SEA (Tena & Couso, 2023), en relació amb l'aprenentatge de continguts conceptuals de ciències de l'alumnat. Així, es podria també haver avaluat l'aprenentatge d'idees relacionades amb la pràctica científica de la indagació en les que es centra un altre bloc d'activitats del Projecte

Atenció, així com altres aspectes de qualitat d'una SEA com la productivitat o la utilitat. Creiem que cal seguir investigant sobre les iniciatives de ciència ciutadana escolar, i cal seguir avaluant de forma més àmplia l'aprenentatge de l'alumnat en elles en les diferents vessants de la competència científica i la millora del posicionament vers les ciències.

---

**SECCIÓ IV. REFERÈNCIES  
BIBLIOGRÀFIQUES**

---



## 7. Referències bibliogràfiques

- Ametller, J. (2020). Challenging Existing Norms and Practices: Ethical Thinking at the Science Education research boundaries. In K. Otrell-Cass, M. André, & M. Ryu (Eds.), *Examining Ethics in Contemporary Science Education Research* (pp. 107–119). Springer.
- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches En Didactique Des Mathématiques*, 9(3), 281–308.
- Auerbach, J., Barthelme, E. L., Cavalier, D., Cooper, C. B., Fenyk, H., Haklay, M., Hulbert, J. M., Kyba, C. C. M., Larson, L. R., Lewandowski, E., & Shanley, L. (2019). The problem with delineating narrow criteria for citizen science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(31), 15336–15337. <https://doi.org/10.1073/pnas.1909278116>
- Ausubel, D., Novak, J., & Hanesian, H. (1978). *Educational Psychology: A Cognitive View* (2nd ed.). New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Basagaña, X. (2018). Els efectes de la contaminació en les persones: què en sabem i de què busquem evidències? *Ciències 35*, 35, 28–34.
- Benarroch, A. (2001). Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de Las Ciencias*, 19(1), 123–134. <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/viewFile/21722/21556>
- Bennett, J., Lubben, F., Hogarth, S., & Campbell, B. (2005). Systematic reviews of research in science education: Rigour or rigidity? *International Journal of Science Education*, 27(3), 387–406. <https://doi.org/10.1080/0950069042000323719>
- Berland, L. K., Schwarz, C. V., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S., & Reiser, B. J. (2016). Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(7), 1082–1112. <https://doi.org/10.1002/tea.21257>
- Besson, U., & Viennot, L. (2004). Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: Two experimental interventions in solid friction and fluid statics. *International Journal of Science Education*, 26(9), 1083–1110. <https://doi.org/10.1080/0950069042000205396>
- Blanco López, Á., Martínez Peña, B., & Jiménez Liso, M. R. (2018). ¿Puede la investigación

- iluminar el cambio educativo? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2), 15–28.  
<https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4612>
- Bonney, R., Phillips, T. B., Ballard, H. L., & Enck, J. W. (2016). Can citizen science enhance public understanding of science? *Public Understanding of Science*, 25(1), 2–16.  
<https://doi.org/10.1177/0963662515607406>
- Bonney, R., Phillips, T. B., Enck, J., Shirk, J. L., & Trautmann, N. (2015). Citizen Science and Youth Education. *Committee on Successful Out-of-STEM Learning*, 22.  
<https://doi.org/http://dictionary.cambridge.org/dictionary>
- Boyes, E., Myers, G., Skamp, K., Stanisstreet, M., & Yeung, S. (2007). Air quality: A comparison of students' conceptions and attitudes across the continents. *Compare*, 37(4), 425–445. <https://doi.org/10.1080/03057920701366176>
- Brossard, D., Lewenstein, B., & Bonney, R. (2005). Scientific knowledge and attitude change: The impact of a citizen science project. *International Journal of Science Education*, 27(9), 1099–1121. <https://doi.org/10.1080/09500690500069483>
- Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J. F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 579–604. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614735>
- Caamaño, A. (2020). *Ensenyar química: De las sustancias a la reacción química*. Graó.
- Campbell, T., Schwarz, C., & Windschitl, M. (2016). What We Call Misconceptions May Be Necessary Stepping-Stones Toward Making Sense of the World. *The Science Teacher*, 83, 69–74. <https://doi.org/10.2505/4/sc16>
- Chinn, C. A., Rinehart, R. W., & Buckland, L. A. (2014). Epistemic cognition and evaluating information: Applying the AIR model of epistemic cognition. In D. Rapp and J. Braasch (Eds.), *Processing inaccurate information: Theoretical and applied perspectives from cognitive science and the educational sciences* (p. *Processing Inaccurate Information: Theoretical and Applied Perspectives from Cognitive Science and the Educational Sciences*, 425–453.
- Cobb, P., Confrey, J., Disessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13.  
<https://doi.org/10.3102/0013189X032001009>

- Cohen, L., Lawrence, M., & Morrison, K. (2018). *Research Methods in Education*. Routledge.
- Cooper, M. M., Stieff, M., & DeSutter, D. (2017). Sketching the Invisible to Predict the Visible: From Drawing to Modeling in Chemistry. *Topics in Cognitive Science*, 9(4), 902–920. <https://doi.org/10.1111/tops.12285>
- Couso, D., & Garrido-Espeja, A. (2017). Models and Modelling in Pre-service Teacher Education: Why We Need Both. In K. Hahl, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto, & J. Lavonen (Eds.), *Cognitive and Affective Aspects in Science Education Research. Selected Papers from the ESERA 2015 Conference* (Springer, pp. 245–261).
- Couso, D., & Puig, B. (2021). Educación científica en tiempos de pandemia. *Almabique*, 49, 49–56.
- Couso, D., Simarro, C., Perelló, J., & Bonhoure, I. (2017). *10 Ideas To Include the RRI Perspective in Stem Education*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1303805>
- Couso Lagarón, D. (2015). La clau de tot plegat: la importància de “què” ensenyar a l’aula de ciències. *Ciències: Revista Del Professorat de Ciències de Primària i Secundària*, 29(29), 29–36. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.56>
- Crujeiras, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas. *Alambique*, 72, 12–19.
- Dimitriou, A., & Christidou, V. (2007). Pupils’ understanding of air pollution. *Journal of Biological Education*, 42(1), 24–29. <https://doi.org/10.1080/00219266.2007.9656103>
- Domènech-Casal, J. (2018). Comprender, Decidir y Actuar: Una Propuesta-marco de Competencia Científica para la Ciudadanía. *Revista Eureka*, 15(1). [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i1.1105](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1105)
- Duit, R., Gropengießer, H., & Kattmann, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. In H.E. Fischer, (Ed.), *Developing standards in research on science education* (pp. 1-9). London: Taylor & Francis.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction - a framework for improving teaching and learning

- science. *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective*, December 2014, 13–37. <https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8>
- Duschl, R. A., & Grandy, R. (2012). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science and Education*, 22(9), 2109–2139. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- Edwards, R., Kirn, S., Hillman, T., Kloetzer, L., Mathieson, K., McDonnell, D., & Phillips, T. (2018). Learning and developing science capital through citizen science. In S. Hecker, M. Hakly, A. Bowser, Z. Makuch, J. Vogel, & A. Bonn (Eds.), *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy* (pp. 381–390). UCL Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv550cf2.33>
- Erduran, S., & Dagher, Z. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories*. Springer.
- Garrido Espeja, A. (2016). *Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Gerlach, K., Trate, J. M., Blecking, A., Geissinger, P., & Murphy, K. L. (2014). Investigation of Absolute and Relative Scaling Conceptions of Students in Introductory College Chemistry Courses. *Journal of Chemical Education*, 91, 1526–1537. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00988>
- Giere, R. N. (1991). Understanding Scientific Reasoning , 3rd edition Understanding and Evaluating Theoretical Hypotheses. In *Understanding Scientific Reasoning* (pp. 14–39).
- Gignac, F., Barrera-Gómez, J., Persavento, C., Solé, C., Tena, È., López-Vicente, M., Foraster, M., Amato, F., Alastuey, A., Querol, X., Llavador, H., Apesteguía, J., Júlvez, J., Couso, D., Sunyer, J., & Basagaña, X. (2021). Short-term effect of air pollution on attention function in adolescents (ATENCIÓ): A randomized controlled trial in high schools in Barcelona, Spain. *Environment International*, 156, 106614. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106614>
- Gignac, F., Solé, C., Barrera-gómez, J., Persavento, C., Tena, È., López-vicente, M., Júlvez, J., Sunyer, J., Couso, D., & Basagaña, X. (2021). Identifying factors influencing attention in adolescents with a co-created questionnaire: A citizen science approach with secondary students in Barcelona, Spain. *International Journal of Environmental Research and*

- Public Health*, 18(15), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158221>
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. 1–8). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8>
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2020). Students' competence in translating between different types of chemical representations. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(1), 307–330. <https://doi.org/10.1039/c8rp00301g>
- Gómez, V., & Gavidia, V. (2015). Describir y dibujar en ciencias. La importancia del dibujo en las representaciones mentales del alumnado. *Revista Eureka*, 12(3), 441–455. [https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2015.v12.i3.04](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i3.04)
- Gott, R., Duggan, S., Roberts, R., & Hussain, A. (2003). Research into Understanding Scientific Evidence. ... /*Www. Dur. Ac. Uk/Rosalyn. Roberts/Evidence ...*, 1–14. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Research+into+Understanding+Scientific+Evidence#1>
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 11. <https://doi.org/10.1080/095006900289976>
- Guisasola, J., Ametller, J., & Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 18(1). <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J., & Gutierrez-Berraondo, J. (2017). Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 1–14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020139>
- Gutierrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencia conocen y necesitan conocer acerca de los modelos . Aproximaciones y alternativas . *Bio-Grafía*, 7(13), 37–66. <https://doi.org/10.17227/20271034.13biografia37.66>

- Hadenfeldt, J. C., Liu, X., & Neumann, K. (2014). Framing students' progression in understanding matter: a review of previous research. *Studies in Science Education*, 50(2), 181–208. <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.945829>
- Haklay, M. (2013). Citizen science and volunteered geographic information: Overview and typology of participation. In D. Sui, S. Elwood, & M. Goodchild (Eds.), *Crowdsourcing geographic knowledge: Volunteered geographic information (VGI) in theory and practice* (pp. 105–122). Dordrecht: Springer.
- Haklay, M., Dörler, D., Heigl, F., Manzoni, M., Hecker, S., & Vohland, K. (2021). What Is Citizen Science? The Challenges of Definition. In K. Vohland, A. Land-Zandsra, L. Ceccaroni, R. Lemmens, J. Perelló, M. Ponti, R. Samson, & K. Wagenknecht (Eds.), *The Science of Citizen Science* (Springer, pp. 13–33). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4_2)
- Harlen, W. (2010). *Principles and Big Ideas of Science Education* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Harlin, J., Kloetzer, L., Patton, D., & Leonhard, C. (2018). Turning students into scientists. In S. Hecker, M. Haklay, A. Bowser, Z. Makuch, J. Vogel, & A. Bonn (Eds.), *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy* (pp. 410–428). UCL Press. <https://doi.org/10.1021/cen-v033n048.p5162>
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2002). The Particulate Nature of Matter: Challenges in Understanding the Submicroscopic World. In J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Kluwer Academic Publishers.
- Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., & Bonn, A. (2018). *Citizen Science. Innovation in Open Science, Society and Policy* (UCL Press). <https://doi.org/https://doi.org/10.14324/111.9781787352339>
- Hernández, M. I., Couso, D., & Pintó, R. (2015). *Analyzing Students' Learning Progressions Throughout a Teaching Sequence on Acoustic Properties of Materials with a Model-Based Inquiry Approach*. 24, 356–377. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y>
- Hernández, M. I., & Pintó, R. (2016). The Process of Iterative Development of a Teaching/Learning Sequence on Acoustic Properties of Materials. In *Iterative Design of*

- Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools* (pp. 129–166). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- Hernández Rodríguez, M. I. (2018). Com a docents de ciències, avaluem la nostra pràctica? *Ciències: Revista Del Professorat de Ciències de Primària i Secundària*, 36, 20–29. <https://revistes.uab.cat/ciencies/article/view/n36-hernandez>
- Izquierdo-Aymerich, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12, 27–43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Izquierdo, M. (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las ciencias para todos. *Bio-Grafía*, 13, 69–85.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M., & Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de Las Ciencias, número ext*, 79–91.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Crujeiras, B. (2017). Epistemic Practices and Scientific Practices in Science Education. *Science Education*, 69–80. [https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_5)
- Jiménez-Liso, M. R., Delgado, L., Castillo-Hernández, F. J., & Baños, I. (2021). Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria. *Enseñanza de Las Ciencias*, 39(1), 5–25.
- Jiménez Liso, M. R., Martínez Chico, M., & López-Gay Lucio-Villegas, R. (2023). Cómo enseñar a diseñar Secuencias de Actividades de Ciencias: Principios, elementos y herramientas de diseño. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 20(3). [https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2023.v20.i3.3801](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3801)
- Kali, Y., Levin-Peled, R., & Dori, Y. J. (2009). The role of design-principles in designing courses that promote collaborative learning in higher-education. *Computers in Human Behavior*, 25(5), 1067–1078. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2009.01.006>
- Kelemen-Finan, J., Scheuch, M., & Winter, S. (2018). Contributions from citizen science to science education: an examination of a biodiversity citizen science project with schools in Central Europe. *International Journal of Science Education*, 40(17), 2078–2098. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1520405>

- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, Activity, and Epistemic Practice. In *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. (Issue November, pp. 99–117). Sense Publishers. <https://doi.org/10.1163/9789460911453>
- Kelly, G. J., & Chen, C. (1999). The sound of music: Constructing science as sociocultural practices through oral and written discourse. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), 883–915. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199910\)36:8<883::AID-TEA1>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199910)36:8<883::AID-TEA1>3.0.CO;2-I)
- Kloetzer, L., Lorke, J., Roche, J., Golumbic, Y., Winter, S., & Jögeva, A. (2021). Learning in Citizen Science. In K. Vohland, A. Land-Zandsra, L. Ceccaroni, R. Lemmens, J. Perelló, M. Ponti, R. Samson, & K. Wagenknecht (Eds.), *The Science of Citizen Science* (pp. 283–308). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4_15)
- Knuuttila, T. (2021). Epistemic artifacts and the modal dimension of modeling. *European Journal for Philosophy of Science*, 11(3), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s13194-021-00374-5>
- Kolb, S. M. (2012). Grounded Theory and the Constant Comparative Method: Valid Research Strategies for Educators. *Journal of Emerging Trends in Educational Research and Policy Studies*, 3(1), 83–86.
- Land-Zandstra, A., Agnello, G., & Gültekin, Y. S. (2021). Participants in citizen science. In K. Vohland, A. Land-Zandstra, L. Ceccaroni, R. Lemmens, J. Perelló, M. Ponti, R. Samson, & K. Wagenknecht (Eds.), *The science of citizen science* (pp. 243–259). Springer Nature.
- Leach, J., Ametller, J., & Scott, P. (2010). Establishing and communicating knowledge about teaching and learning scientific content: The role of design briefs. In K. Kortland & K. Klaassen (Eds.), *Designing theory-based teaching-learning sequences for science education* (pp. 7–36). Utrecht University-CDBeta Press.
- Leach, J., & Scott, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38(1), 115–142. <https://doi.org/10.1080/03057260208560189>
- Lijnse, P. (1995). “Developmental research” as a way to an empirically based “Didactical

- structure” of science. *Science Education*, 79 (2), 189-199.
- Mandrikas, A., Stavrou, D., & Skordoulis, C. (2017). Teaching Air Pollution in an Authentic Context. *Journal of Science Education and Technology*, 26(2), 238–251. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9675-8>
- Márquez, C., & Bach, J. (2007). Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 15(3), 280–286.
- Márquez, C., Izquierdo, M., & Espinet, M. (2003). Comunicación multimodal en la clase de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 21(3), 371–386. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3915>
- Martin, A., Miller-Bains, K., Malmberg, J., Chambers, L., & Czajkowski, K. (2022). Characterizing Student-Driven Research Investigations Contributed to the GLOBE Program Citizen Science Initiative in a Formal Education Context. *Citizen Science: Theory and Practice*, 7(1), 1–16. <https://doi.org/10.5334/CSTP.480>
- Martínez-Chico, M., Jiménez-Liso, M. R., & López-Gay, R. (2017). Self-regulation of Emotions and Feelings : Towards a More Complete Evaluation of Pre-service Primary Teacher Training in Science Education. *New perspectives in Science Education*
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- Meijer, M. R., Bulte, A. M. W., & Pilot, A. (2013). Macro–Micro Thinking with Structure–Property Relations: Integrating ‘Meso-levels’ in Secondary Education. In G. Tsaparlis & H. Sevian (Eds.), *Concepts of Matter in Science Education* (Vol. 19, pp. 485–520). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5914-5>
- Miles, M., Huberman, M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis* (Third Edit). SAGE Publications Inc.
- Moltó, M. Á., Hernández, M. I., & Pintó, R. (2021). Una herramienta para el análisis del nivel de comprensión del modelo de materia de los alumnos de 4º de ESO. *Revista Eureka*, 18(1). <https://doi.org/10.25267/Rev>

- National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education. In *Social Sciences*. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Neuman, W. L. (2014). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches* (Seventh Ed). Allyn & Bacon.
- Nistor, A. (2019). *Bringing Research Into The Classroom - The Citizen Science approach in schools. Scientix Observatory report* (European S).
- NRC. (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. In *A framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts and Core Ideas* (Committee). The National Academies Press.
- Oh, S. P., & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130.
- Oliva, J. M. (2019). Different definitions for the idea of modeling in science education. *Ensenanza de Las Ciencias*, 37(2), 5–24. <https://doi.org/10.5565/REV/ENSCIENCIAS.2648>
- Oliva, J. M. (2020). Sobre la importancia de contextualizar las investigaciones en didáctica de las ciencias. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 17(1), 1001. <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 177–196.
- 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. *The BMJ*, 372(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Phillips, T. B., Ballard, H. L., Lewenstein, B. V., & Bonney, R. (2019). Engagement in science through citizen science: Moving beyond data collection. *Science Education*, 103(3), 665–690. <https://doi.org/10.1002/sce.21501>

- Phillips, T., Porticella, N., Conostas, M., & Bonney, R. (2018). A Framework for Articulating and Measuring Individual Learning Outcomes from Participation in Citizen Science. *Citizen Science: Theory and Practice*, 3(2), 3. <https://doi.org/10.5334/cstp.126>
- Plomp, T., & Nieveen, N. (2013). Educational Design Research Educational Design Research. *Netherlands Institute for Curriculum Development: SLO*, 1–206.
- Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. Á. (2005). The embodied nature of implicit theories: The consistency of ideas about the nature of matter. *Cognition and Instruction*, 23(3), 351–387. [https://doi.org/10.1207/s1532690xci2303\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xci2303_2)
- Rea-Ramirez, M. A. (2008). Determining Target Models and Effective Learning Pathways for Developing Understanding of Biological Topics. *Model Based Learning and Instruction in Science*, 45–58. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6494-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6494-4_3)
- Roche, J., Bell, L., Galvão, C., Golumbic, Y. N., Kloetzer, L., Knoblen, N., Laakso, M., Lorke, J., Mannion, G., Massetti, L., Mauchline, A., Pata, K., Ruck, A., Taraba, P., & Winter, S. (2020). Citizen Science, Education, and Learning: Challenges and Opportunities. *Frontiers in Sociology*, 5(December), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fsoc.2020.613814>
- Romero-Ariza, M. (2014). Uniendo investigación, política y práctica educativas: DBR, desafíos y oportunidades. *Magis. Revista Internacional de Investigación En Educación*, 7(14), 159–176. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.M7-14.UIPP>
- Sampieri Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Sanmarti Puig, N., & Márquez Bargalló, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Serrano, F., Holocher-Ertl, T., Kieslinger, B., Sanz García, F., & G. Silva, C. (2014). *White Paper on Citizen Science for Europe*.

- Skamp, K., Boyes, E., & Stainstreet, M. (2004). Students' Ideas and Attitudes about Air Quality. *Research in Science Education*, 34, 313–342. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9818-6>
- Socientize Consortium. (2013). Green paper on Citizen Science. Citizen Science for Europe: Towards a society of empowered citizens and enhanced research. In *Socientize*.
- Stylinski, C. D., Peterman, K., Phillips, T., Linhart, J., & Becker-Klein, R. (2020). Assessing science inquiry skills of citizen science volunteers: a snapshot of the field. *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 10(1), 77–92. <https://doi.org/10.1080/21548455.2020.1719288>
- Talanquer, V. (2009). On cognitive constraints and learning progressions: The case of “structure of matter.” *International Journal of Science Education*, 31(15), 2123–2136. <https://doi.org/10.1080/09500690802578025>
- Tena, È., & Couso, D. (2021). What Is City Air Made of? An Analysis of Pupils' Conceptions of Clean and Polluted Air. In O. Levrini (Ed.), *Engaging with Contemporary Challenges through Science Education Research* (pp. 133–148). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74490-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74490-8_11)
- Tena, È., & Couso, D. (2023). ¿Cómo sé que mi secuencia didáctica es de calidad? Propuesta de un marco de evaluación desde la perspectiva de Investigación Basada en Diseño. *Revista Eureka*, 20(2). [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2023.v20.i2.2801](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2801)
- The Design-Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>
- van Berkel, B., Pilot, A., & Bulte, A. (2009). Micro-Macro Thinking in Chemical Education: Why and How to Escape. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. 31–54). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8>
- van den Akker, J. (2013). Curricular Development Research as a Specimen of Educational Design Research. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research. Part A: An introduction* (pp. 52–71). SLO.

- van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., & Nieveen, N. (2006). Introducing Educational Design Research. In *Educational Design Research* (pp. 1–8). [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_11)
- Vohland, K., Land-Zandsra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., Samson, R., & Wagenknecht, K. (Eds.). (2021). *The Science of Citizen Science*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological functions*. Cambridge: Harvard University Press.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>
- Zoellick, B., Nelson, S. J., & Schauffler, M. (2012). Participatory science and education: Bringing both views into focus. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 310–313. <https://doi.org/10.1890/110277>

## Índex de taules

|   |     |
|---|-----|
| Taula 1. Nivell assignat i la justificació del nivell per les dimensions claus de ciència ciutadana en context escolar. ....                                      | 90  |
| Taula 2. Resum dels principis, elements i eines de disseny per al disseny de la SEA sobre el fenomen de la contaminació atmosfèrica per a 3r d'ESO. ....          | 107 |
| Taula 3. Idees clau que es volen treballar a la SEA en relació amb el model matèria aplicat al fenomen de la contaminació atmosfèrica. ....                       | 108 |
| Taula 4. Activitats previstes a la SEA en relació amb la fase del cicle de modelització (Couso & Garrido-Espeja, 2017) i la idea clau que es pretén assolir. .... | 118 |

## Índex de figures

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Cicle de Modelització actualitzat per Couso (2020) basat en Couso i Garrido-Espeja (2017). .....   | 14 |
| Figura 2. Reproducció del marc analític operatiu per a l'avaluació de SEAs proposat per Tena i Couso (2023). .....   | 19 |
| Figura 3. Esquema dels estudis i preguntes de recerca que conformen la tesi en relació amb les publicacions del compendi. En gris també s'inclouen altres publicacions que no formen part d'aquest compendi, però que han sigut productes de la dimensió científica del Projecte Atenció i que s'han inclòs per completesa. .... | 23 |
| Figura 4. Esquema de les preguntes i publicacions que donen resposta a l'Estudi 1. ....  | 30 |
| Figura 5. Diagrama de flux per a la selecció d'articles basat en el protocol PRISMA (Page et al., 2021). Reproducció de l'article "Citizen science in schools: A systematic literature review" publicat a la revista International Journal of Science Education, Part B. ....  | 33 |
| Figura 6. Reproducció de la base de dades creada amb les unitats d'anàlisi (cites textuais) per cadascuna de les iniciatives en relació amb les dimensions de l'anàlisi. ....  | 34 |
| Figura 7. Esquema de l'Estudi 1 de la tesi on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i les altres publicacions que conformen aquest estudi.....   | 35 |
| Figura 8. Esquema de l'Estudi 1 de la tesi on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i les altres publicacions que conformen aquest estudi.....   | 53 |
| Figura 9. Esquema de l'Estudi 1 de la tesi on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i les altres publicacions que conformen aquest estudi.....   | 73 |
| Figura 10. Esquema de l'Estudi 1 de la tesi on es senyala quina és la publicació que es presenta en aquest capítol en relació amb les preguntes de recerca i les altres publicacions que conformen aquest estudi. ....   | 83 |
| Figura 11. Imatges de l'alumnat realitzant els tests d'atenció. Per a totes aquestes fotografies es van obtenir els drets d'imatges de l'alumnat.....  | 84 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 12. Programa de les Jornades formatives del Projecte Atenció per a professorat que va tenir lloc l'estiu del 2018. ....  | 85  |
| Figura 13. Imatges del professorat participant a les jornades de formació i l'alumnat participant en les activitats de la SEA. Per a totes aquestes fotografies es van obtenir els drets d'imatges de l'alumnat. ....   | 86  |
| Figura 14. Programa del I Congrés científic escolar del Projecte Atenció. ....  | 87  |
| Figura 15. Esquema del perfil "Alumnat aprenent ciències fent de científiques" al que correspon el Projecte Atenció. ....   | 89  |
| Figura 16. Representació del Projecte Atenció en relació amb les dimensions clau i els nivells de cadascuna de les dimensions. ....   | 91  |
| Figura 17. Esquema de les preguntes i publicacions que donen resposta a l'Estudi 2. ....  | 104 |
| Figura 18. Esquema de l'Estudi 2 on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i els altres articles que conformen aquest estudi. ....   | 109 |
| Figura 19. Esquema de l'Estudi 2 on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i els altres articles que conformen aquest estudi. ....   | 117 |
| Figura 20. Enunciat de l'activitat de la SEA que ha servit com a instrument de recollida de dades sobre les idees de l'alumnat en relació amb el model matèria i la contaminació atmosfèrica tant a l'inici com al final de la seqüència. ....  | 121 |
| Figura 21. Exemple de la codificació feta amb el software Atlas.ti versió 9 per a la producció d'un alumne/a en relació amb l'aire contaminat. A l'esquerra de la pantalla es pot observar el llistat de documents analitzats. Al centre un exemple d'una producció d'un alumne. A l'esquerra els codis assignats a aquesta producció. .... | 124 |
| Figura 22. Esquema de l'Estudi 2 on es senyala quina és la publicació que es presenta a continuació en relació amb les preguntes de recerca i els altres articles que conformen aquest estudi. ....   | 126 |

---

**SECCIÓ V. ANNEX**

---



# Annex 1. Carta d'acceptació per a la presentació de la tesi doctoral per compendi de publicacions



## DIPÒSIT DE TESI PER COMPENDI DE PUBLICACIONS

La comissió per a la verificació i aprovació de la tesi per compendi d'articles, de la doctoranda CATERINA SOLÉ MARTÍN (NIA: 1474733), amb el vistiplau de la CAPD i formada per:

- Dra. Mercè Junyent Pubill (coordinadora del Doctorat en Educació i membre de la CAPD)
- Dra Núria Gorgorió Solà (coordinadora de les línies 1 i 2, de l'àmbit de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals i membre de la CAPD)
- Dr. Gustavo González Valencia (coordinador de la línia 5, de l'àmbit de Didàctica de la Llengua i la Literatura i de les Ciències Socials i membre de la CAPD)

reunida l'4 de desembre de 2023 i un cop revisada la documentació aportada per la doctoranda, confirma que compleix amb els requisits establerts en el Programa de Doctorat en Educació perquè la tesi es presenti i dipositi com a compendi de publicacions.

Títol de la Tesi: *Caracteritzant el potencial educatiu de la ciència ciutadana escolar. Disseny i avaluació d'una seqüència didàctica per a l'aprenentatge del model matèria a secundària*

Direcció: Dra. Digna Couso – Dra. Maria Isabel Hernández

Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), a 4 de desembre de 2023

Nom i signatura de les persones de la Comissió

MERCE JUNYENT PUBILL - DNI 39314734Y  
 Firmado digitalmente por MERCE JUNYENT PUBILL - DNI 39314734Y  
 Fecha: 2023.12.04 15:10:42 +01'00'

**Dra. Mercè Junyent**

MARIA NURIA GORGORIO SOLA - DNI 40290905B  
 Firmado digitalmente por MARIA NURIA GORGORIO SOLA - DNI 40290905B  
 Fecha: 2023.12.04 15:24:13 +01'00'

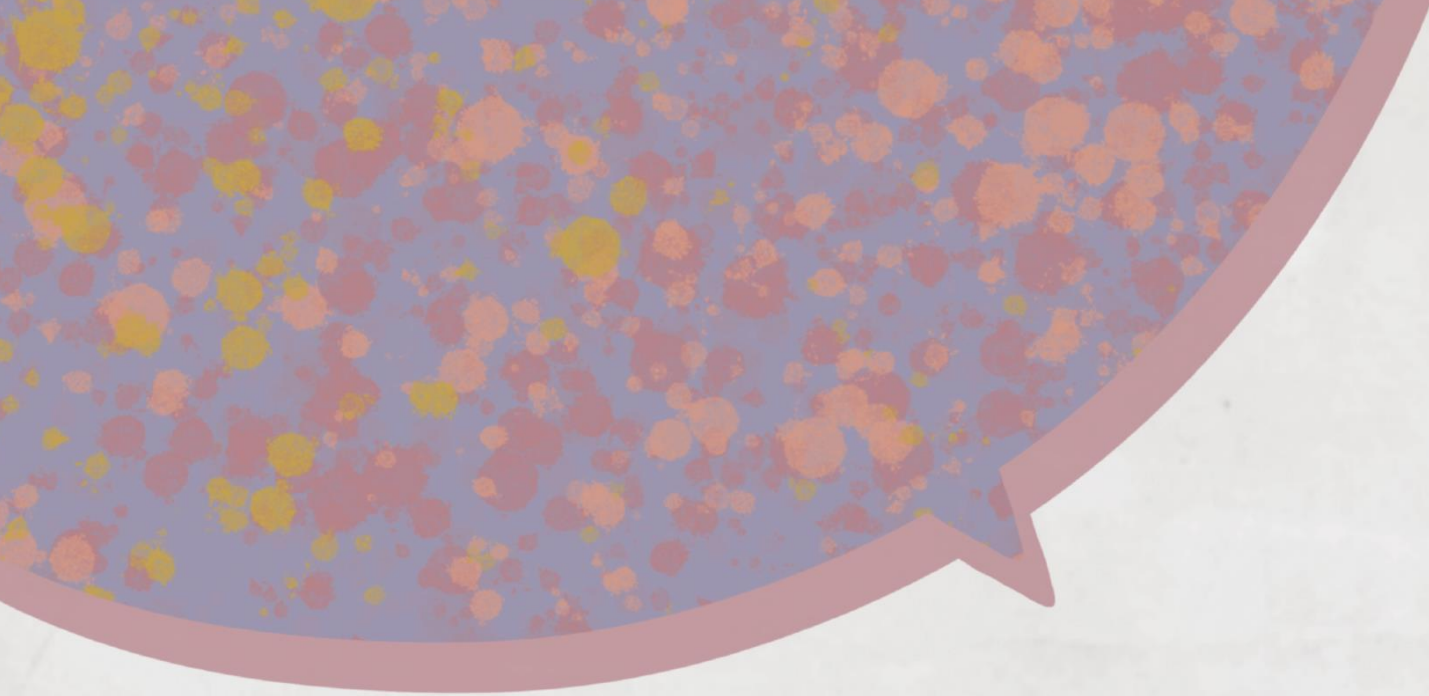
**Dra. Núria Gorgorió**

GUSTAVO ALONSO GONZALEZ VALENCIA - DNI X5796635Z  
 Firmado digitalmente por GUSTAVO ALONSO GONZALEZ VALENCIA - DNI X5796635Z  
 Fecha: 2023.12.05 21:27:32 +01'00'

**Dr. Gustavo González**

Facultat Ciències de l'Educació - Edifici G6 Despatx G6/216 - Campus UAB - 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Valles) - Barcelona-Spain  
 Tel +0034 93 5812498 uisad.c.educacio.doctorat@uab.cat  
<http://www.uab.cat/doctorateducacio/>





**UAB**  
Universitat Autònoma  
de Barcelona

