

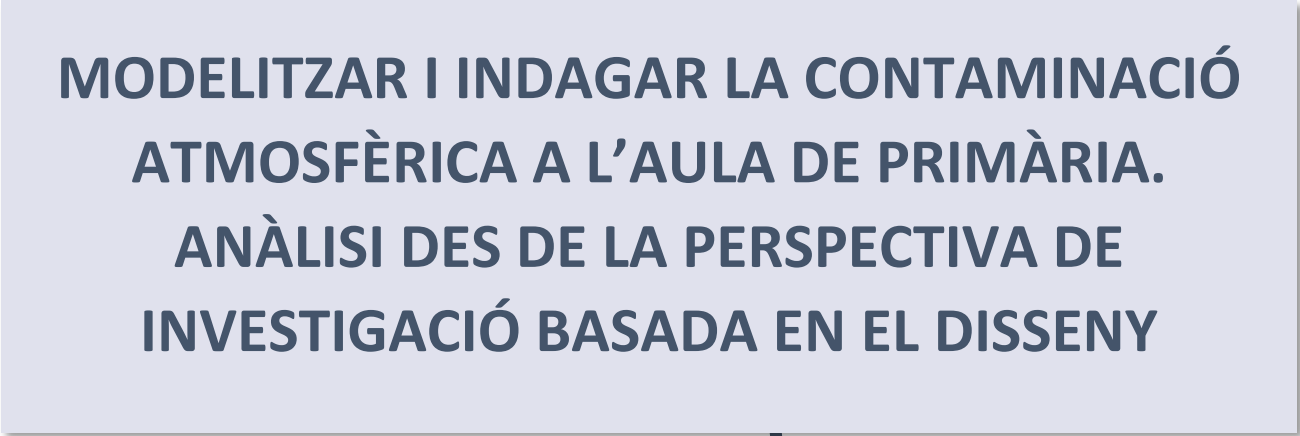


Universitat Autònoma de Barcelona


**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:  [http://cat.creativecommons.org/?page\\_id=184](http://cat.creativecommons.org/?page_id=184)

**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:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

**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>



**MODELITZAR I INDAGAR LA CONTAMINACIÓ  
ATMOSFÈRICA A L'AULA DE PRIMÀRIA.  
ANÀLISI DES DE LA PERSPECTIVA DE  
INVESTIGACIÓ BASADA EN EL DISSENY**



***MODELLING AND INQUIRY THE AIR POLLUTION  
PHENOMENA IN UPPER PRIMARY SCHOOL. ANALYSING  
FROM A DESIGN BASED RESEARCH PARADIGM***

**ÈLIA TENA I GALLEGO**

**Direcció: Dra. Digna Couso**



Bellaterra, Setembre 2022



**Universitat Autònoma de Barcelona**

Departament de Didàctica de la Matemàtica i  
de les Ciències Experimentals

**MODELITZAR I INDAGAR LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA A  
L'AULA DE PRIMÀRIA. ANÀLISI DES DE LA PERSPECTIVA DE  
INVESTIGACIÓ BASADA EN EL DISSENY**

**Doctoranda**

Èlia Tena i Gallego

**Directora**

Dra. Digna Couso Lagarón

Doctorat en Educació. Àmbit Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals

Setembre, 2022





*Qui pregunta ja respon  
Qui respon, també pregunta.  
Raimon*

*Dust in the wind  
All we are is dust in the wind  
Dust in the wind  
Everything is dust in the wind*

*Kansas - Dust in the wind*



# PRESENTACIÓ

Aquest document recull el treball de tesi doctoral d'Èlia Tena i Gallego, matriculada al programa de Doctorat en Educació en l'àmbit de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals (RD 99/2011) a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i investigadora al grup de recerca ACELEC (Activitat Científica Escolar: Llenguatge, Eines i Contextos) (2017SGR1399).

La tesi es presenta en la modalitat de compendi d'articles i està estructurada seguint les directrius de presentació de les mateixes.

En aquesta tesi s'aporten 5 articles originals que segueixen una mateixa línia d'investigació, la recerca basada en el disseny d'innovacions per a l'ensenyament i aprenentatge de les ciències a l'aula de primària. Tots ells han estat aprovats per la Comissió d'Estudis de Postgrau (veure carta a l'Annex, [enllaç](#)) per ser presentats com a tesis doctoral per compendi de publicacions. Cadascun dels articles s'adjunten en la llengua i format original de la publicació. En ordre d'aparició i amb la numeració que apareixen:

- **ARTICLE 0:** Tena, È. i Couso, D. (aceptado, en prensa). ¿Cómo sé que mi secuencia didáctica es de calidad?: Propuesta de un marco de evaluación desde la perspectiva de la Indagación Basada en el Diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.
- **ARTICLE 1.1.:** Tena, È. (2021). ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización en el aula de primaria. *Ápice. Revista de educación científica* <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7613>
- **ARTICLE 1.2.:** Tena, È. y Couso, D. (2020). Com es pot ajuda a l'alumnat a investigar en ciències? *Guix. Elements d'acció educativa*, 471 pp. 15-20. <https://cat-grao-com.are.uab.cat/ca/producte/com-es-pot-ajudar-lalumnat-a-investigar-en-ciencies-gu47199373>
  - Versió en castellà: Tena, È. y Couso, D. (2020). ¿Cómo ayudar al alumnado a investigar en ciencias? *Aula de Innovación Educativa*, 298 pp. 15-20. <https://www.grao.com/es/producto/como-ayudar-al-alumnado-a-investigar-en-ciencias-au29899373>
- **ARTICLE 2.:** Tena, È. & Couso, D. (2021) What Is City Air Made of? An Analysis of Pupils' Conceptions of Clean and Polluted Air. In: Levrini O., Tasquier G., Amin T.G., Branchetti L., Levin M. (eds) *Engaging with Contemporary Challenges through Science Education Research. Contributions from Science Education Research*, vol 9. Springer, Cham. [https://doi-org.are.uab.cat/10.1007/978-3-030-74490-8\\_11](https://doi-org.are.uab.cat/10.1007/978-3-030-74490-8_11)
- **ARTICLE 3.:** Tena, È i Couso, D. (aceptado, en prensa) El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación experiencias didácticas*. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5573>

A banda de les publicacions anteriors, en el transcurs d'aquesta tesi s'han validat i divulgat part dels resultats de recerca a través de diverses comunicacions a congressos de l'àrea nacionals i internacionals. A més a més, aquests s'han presentat i discutit en una escola de doctorat nacional (V Escuela de Docotrado de Ápice). Les aportacions fetes en cadascun d'aquest fòrums, tot i que no formen part del compendi d'articles, es recullen a continuació en ordre cronològic:

- Tena, È. & Couso, D. (2019). *What is the city air made of?*. ESERA Conference, Bologna, Italy.

- Tena, È., Solé, C. y Couso, D. (2020). *¿Cómo podemos investigar la contaminación atmosférica en las aulas de primaria y secundaria? Una propuesta de indagación basada en la modelización*. Actas VII Congreso CTS. València, On-Line. (pp. 649-652) <https://roderic.uv.es/handle/10550/76549>
- Solé, C.; Tena, È.; Couso, D. I Hernández, M.I. (2020). *¿Cómo es el aire contaminado? Ideas del alumnado de primaria y secundaria sobre la estructura y la naturaleza de la contaminación atmosférica*. Actas XXVI Encuentro de Didáctica de Las Ciencias Experimentales, Córdoba, On-line. (pp. 253-262) <http://apice-dce.com/wp-content/uploads/2021/04/Actas-de-los-29edce.pdf>
- Tena, È. y Couso, D. (2021). *El diseño de preguntas investigables en el aula de primaria: dificultades y evolución*. 11º Congreso Enseñanza de las Ciencias, Lisboa, On-Line (pp. 61-64) <https://congresoenseciencias.org/actas/>
- Tena, È. y Couso, D. (2022). *Construcción de un marco para la evaluación de SEAs desde el paradigma IBD*. 30 Encuentros de didáctica de las ciencias experimentales, Melilla.

Donada la rellevància que té en aquesta tesi la transferència a l'aula, tant els productes com els resultats de recerca que s'han derivat de la mateixa també s'han divulgat en diversos espais de formació i innovació per a docents, especialment però no exclusivament de primària, com conferències (STEAMConf 2019) i formacions (p.ex. a la formació del 8é Congrès de Ciència de la Ciutat de Barcelona, curs d'Estiu de Rosa Sensat d'STEM i Justícia Global...).

Durant aquesta tesi doctoral s'ha gaudit d'una estada breu (març 2022- juny 2022) amb el grup de recerca de la Dra. Maria Evagorou de la University of Nicosia.

Les activitats d'aquesta tesi doctoral ha comptat amb els suport econòmic de les següents ajudes personals:

- Beca doctoral FI-AGAUR 2018 adscrita al Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica (CRECIM). Referència: 2018FI\_B\_00976
- ESERA Travel award 2021 per al finançament de l'estada predoctoral a la University of Nicosia (Xipre) amb la Dra. Maria Evagorou entre Març i Juny del 2022.
- Ajuda per estades de curta durada a l'estranger pels beneficiaris de contractes predoctorals de les convocatòries PIF de la UAB 2022 pel finançament de l'estada predoctoral a la University of Nicosia (Xipre) amb la Dra. Maria Evagorou entre Març i Juny del 2022.

A més a més, les publicacions que constitueixen aquesta tesi doctoral han estat realitzades amb el suport dels següents projectes de recerca:

- PGC2018-096581-B-C21: 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 (ESPIGA) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades
- FCT-17-11955: Projecte ParticipAire de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).

## AGRAÏMENTS

El manuscrit que teniu entre mans i la recerca de la tesi, s'han anat construint en diverses parts del continent Europeu. Tant en els agraïments com en la tesi he volgut reflectir la riquesa que m'han aportat aquestes experiències fent ús en cada moment de la llengua en la que he construït els diferents aprenentatges. Perquè tot i descobrir en les diverses visites que els somriures son universals, vull agrair a tothom qui ha format part d'aquesta recerca en la llengua en que m'han acompanyat.

No puc començar aquests agraïments d'una altra manera que donant les Gràcies infinites a la **Digna Couso**, la meva directora. Amb ella he après a fer recerca, escriure articles, analitzar resultats, fer gràfics tenint en compte què volem comunicar... però sobretot amb ella he après què és creure en la didàctica de les ciències i la importància de la recerca col·laborativa. Moltíssimes gràcies, Digna per acceptar fer una tesi de ciències a primària, per deixar que m'equivoqués i rectificqués mil i una vegades en aquest camí, per insistir en: "pot ser si fem això serà millor", per confiar en mi per fer moltes coses que jo creia impossibles (presentar en un congrés en anglès, fer una estada a Xipre...), recórrer aquest camí al teu costat ha estat un autèntic plaer i un regal. De tu he après tantes coses que necessitaria una altra tesi sencera per agrair-t'ho. Estic segura que aquest només ha estat l'inici i que encara ens queda molt camí per recórrer plegades.

Una altra persona sense la que no es pot entendre aquesta tesi és la **Caterina Solé**. No em puc imaginar què és fer una tesi sense algú com tu sempre al costat. Caterina estàs en gairebé tots els records d'aquesta tesi: en la primera versió dels materials, gravant les implementacions, en les discussions de les categories, quan rebia els comentaris del reviewer 2, a Xipre viatjant i treballant... Gràcies per estar SEMPRE, pels teus consells i feedbacks, pels friendly reminders, però sobretot GRÀCIES pels nostres "afterwork", els cafès de mig matí els dies de núvols grisos i per ser la meva partner in crime! Jo sempre et vull al meu equip de contractats predoctorals (al final de la tesi, però ho he après!). **Manel Juncà** crec que mereixes unes línies en aquests agraïments per aguantar les nostres converses sobre marcs teòrics, dades... mentre sopàvem un divendres a la nit.

A la meva família acadèmica, **el CRECIM** de qui he après la importància de treballar com a un equip, d'estimar la didàctica però, sobre tot, la importància d'alegrar-se dels èxits de tothom com si fossin propis. Amb vosaltres he après què és això de fer recerca, però sobre tot he crescut com a persona. A la **Carme Grimalt** per ser sempre el punt d'inflexió. Carme gràcies per escoltar totes les meves penes i donar-me tants consells al llarg d'aquests anys, amb tu he après que perseguir els somnis a vegades no és fàcil, però que cal persistir i que l'humor és la millor via d'escapament. Vull donar les gràcies a la **Cristina Simarro** per ser un referent des que vaig arribar a la recerca, perquè tot i que la vida ens ha portat per camins diferents sempre està atenta. Cristina jo de gran vull ser com tu atrevida però cautelosa, amb empena però amb actitud crítica, però sobretot vull estimar a la gent com tu ho fas! Gràcies. Al **Víctor López** amb qui hem quedat d'aquí a uns anys per veure com ens va la vida. Gràcies i mil vegades gràcies per sempre estar disposat a donar-me un cop de mà, per transmetre'm el teu amor pel que fas, per mirar sempre la meva recerca amb amor i un punt de crítica, però sobretot gràcies per les teves preguntes que sempre comencen amb: que t'imagines que passa...?, Com creus que...?. Gràcies **Anna Garrido** per deixar que m'enamores de la didàctica veient com acabaves la tesi, estic segura que sense aquelles converses jo no hauria acabat mai fent recerca. Gràcies a la **Raquel Ríos** i a la **Maria Navarro** per totes les hores de dinar que hem passat parlant de recerca i de no

recerca que tant he trobat a faltar a Xipre... i per totes les converses de Whatsapp i Teams que m'han acompanyat a la part final del doctorat. Compartir aquesta aventura amb vosaltres ha estat un regal. Al meu equip de "Becaris CRECIM": **l'Oto i el David Ferrer**, gràcies per tots els somriures que hem compartit. Iniciar el meu camí amb vosaltres de companys va ser un privilegi i seguir-vos veient de tant en tant una alegria!. A la **Sílvia Casal** per la seva ajuda amb les tasques administratives que tan poc m'agraden.

I would like to say THANK YOU! (in capital letters) to **Maria Evagorou** from University of Nicosia and her whole family, for being the best host imaginable. Maria, spending time in Cyprus discussing the results of this research and exploring new ways to collaborate was an authentic pleasure for me. Your inspiring ideas help me not only to improve this dissertation but also developing a new way of thinking on research in science education. Hopefully, this visit becomes just the first "brick in the wall" for future collaborations. I would also say Thank you to **ESERA** for the opportunity of having a travel award to visit Cyprus as a part of my PhD. Merci beaucoup to **Adnan** and **Solène** for being the most supportive and funny flatmates and friends in Nicosia.

A la **gent del departament de didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals** (Conxita Márquez, Edelmira Badillo, Anna Marbà, Mariona Espinet, Mercè Junyent, Lluís Albarracín, Nuria Planes, Josep Maria Fortuny...) perquè quan els virus i els atacs informàtics ens han deixat sempre preguntàveu: "Què, com va?". Per tot el suport que he sentit per part vostra en tot moment.

Al **Xavier Basagaña i a tot el seu equip d'ISGlobal** per deixar-nos compartir amb ells els projectes de recerca ParticipAire i Atenció que tant ens han inspirat i en els que es basa aquesta tesi. Per la confiança que van dipositar, per les ganes demostrades en tot moment i per tot el que hem après plegats en aquest camí. Als **nens i nenes i als docents de les escoles** que han participat en aquesta recerca. Especialment als de les dues escoles que hem seguit més intensivament durant la recollida de dades que per evitar que es puguin reconèixer les dades mantindré en l'anonimat. Moltes gràcies als mestres i equips directius per deixar-me entrar a les vostres aules, per l'entusiasme amb el que us endinsàveu en les activitats i pel feedback rebut en els diferents moments de la recerca. Una part molt gran d'aquesta tesis és vostra.

Als meus **col·legues de doctorat** (Àngels Moltó, Maria Rosa, Juan, Diana, Elizabeth, Miquel Morell, Natàlia, Alba Torregrossa, Pía, Isabel Pau, Kaouthar...) perquè ens vam proposar formar una comunitat de joves investigadors UAB i ho hem aconseguit. Per fer el camí de tesis una mica menys solitari i per tirar endavant projectes com els tallers DpD. Especialment al **Miquel Pérez** perquè que ell anés sempre un pas per davant m'ha ajudat a veure quin era el camí. Gràcies Miquel per tot el teu suport en els millors i els pitjors moments, per totes les reflexions sobre la didàctica i sobre la vida. Al **Camilo Vergara** i a la **Francisca M. Ubilla**, porque compartir camino con vosotros me ha abierto la mirada. Gracias por vuestro humor siempre a punto para alegrar cualquier momento y vuestro apoyo durante todo el camino.

A **Francisco Castillo** (Fran de Almería para los amigos) por siempre estar cuando lo he necesitado independiente de si está en Almería, en Holanda o en cualquier otra parte del mundo. Por ser mi buscador de bibliografía en los peores momentos, mi compañero de escritura y por su siempre atento: "¿Como ha ido la semana?". Pero sobre todo por insistir y creer en el área y en la colaboración entre universidades y por acogerme siempre con los brazos abiertos y una sonrisa. Estoy segura de que el futuro está lleno de proyectos profesionales y personales juntos.

A la **comunidad de didáctica de las ciencias española** y a los amigos de congresos por sus siempre interesantes aportaciones a nuestro trabajo en forma de comentarios, revisiones de

artículos... Especialmente al grupo **Sensociencia** de Almería por sus ánimos cuando nos encontramos y a **Iñigo** por su interés siempre en nuestra investigación y su feedforward en la Escuela de Doctorado.

A tots els meus mestres i professors i en especial a la **Núria Prat, l'Anna Samaniego, al Hansi Velázquez i el Monti**.

En una esfera més personal, però molt important en aquesta etapa, vull donar les gràcies a la **Marta Barroso** perquè tot aquest temps aguantant a una amiga fent tesi i parlant de tesi no és fàcil. Perquè la nostra amistat és més gran que les nostres diferències. Per totes les aventures que ens queden per recórrer juntes i els Roomescapes per fer. Al **Carlos García**, pel toc d'humor als nostres plans i les seves idees boges que sempre ens fan riure. A la **Júlia Guil, l'Ana Serrano, la Sara Morales i la Berta Astier** perquè tot i que la vida ens ha portat per camins diferents sempre hi ha un moment per quedar i xerrar. A la **gent de l'esplai CLUPI** per ser els meus primers companys, per les aventures i desventures que m'han portat a ser qui soc.

Als **meus companys del grau de primària** (la Natàlia, la Laia, la Anna Marsi, el Gerard, la Marta, la Geor i la Anna Mu), per confiar sempre en mi i per ser els meus referents a l'aula. Sobre tot al **David, el Guillem i la Diana** per ser tant especials. Nois, per fi la vostra broma s'ha fet realitat, ara ja podeu citar-me com a Tena et al. 2022.

A la meva teràpia esportiva, el meus **amics de Go Harder** (Andrea i Núria Morral, Miguel, Toni, Sonia, Guillem...). Perquè l'esport i, sobre tot, els moments de riure de després de l'entrenament han estat la meva salvació en la convulsa etapa de fer aquesta tesi en pandèmia, teletreballant i amb un atac informàtic.

A mis padres porque siempre, siempre están, aunque el camino haga curvas y subida. A mi **papi** (Manuel Tena) por ser nuestro mayor fan desde siempre, por seguirme allí donde vaya, por estar dispuesto siempre a cualquier plan y si es de risa, ¡mejor! Por no cansarse nunca de preguntar si necesito algo. A mi **mami** (Inés Gallego) con la que he compartido miles y miles de horas hablando del cole, de didáctica, de STEM... ¡Y de la vida! por contagiarme el amor por aprender de todo y de todos, por querernos como lo haces, por saber antes que nosotros qué es lo que necesitamos y por hacernos siempre la vida más fácil a todos. A **Genís Tena**, mi hermano, mi primer referente y la primera persona con la que aprendí que para ganar ¡hay que luchar! Porque siempre ha creído en mi más que yo. Por su apoyo, su sonrisa contagiosa, sus bromas y sus abrazos. A **Judit Soria**, por querernos como a su familia, por estar dispuesta siempre a reírse en un plan familiar con nosotros y por sus entrenos, ¡que me han salvado muchos días malos!

A la **yaya Julia** por su eterna sonrisa que guardo en mi corazón. Al **yayo Dionisio** por enseñarnos a no rendirnos nunca y porque siempre está cuando lo necesitamos. A mis tíos (**Ovi, Josan y Ana**) por vuestros ánimos, apoyo e interés por lo que hago siempre. A toda mi familia por los viajes de verano juntos, los días de playa de Sant Antoni y los mejores planes de domingos de comidas en casa, charlas y peli ¡Por ser una piña! Y a la **familia Hernán de la Bella** por acogerme como una más de su familia.

Y especialmente gracias a ti **Ferran Hernán**, porque juntos hemos aprendido a hacer camino al andar. Por aceptar vivir todos estos años de tesis conmigo y mi ordenador como si fuéramos uno con tanta alegría. Porque tus abrazos son casa y terapia en los peores momentos y tu sonrisa y nuestras bromas el mejor plan para los momentos felices. Por animarme a perseguir mis sueños y convertirlos en nuestros sueños, por los planes de presente y de futuro juntos.

A tots els que m'heu acompanyat en aquest camí GRÀCIES!, ¡GRACIAS!, THANK YOU!

## RESUM

La present tesi explora la planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament iteratiu, dins del paradigma d'investigació basada en el disseny (IBD) d'una seqüència didàctica (SEA/DI) contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica, amb l'objectiu de demostrar qualitat en estar fonamentada en recerca, ser subjecte de recerca i aportar a la recerca. Específicament, la SEA/DI busca que l'alumnat del cicle superior de primària (10-12 anys) millori algunes idees clau del model corpuscular de matèria per a aquesta edat així com la seva habilitat per dissenyar preguntes científicament investigables.

Així, en primer lloc, en aquesta tesi s'aprofundeix en els marcs teòrics de Pràctica Científica (concretament en els de models i indagació) i IBD. Especialment en aquesta part es defineix un marc teòric i metodològic per a l'avaluació de la qualitat de les SEA/DI dins d'aquest paradigma que s'ha posat en pràctica a continuació en la recerca. Seguidament, es descriu el procés de planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament de la SEA/DI seguint les etapes pròpies d'una recerca IBD; i, per últim, s'aprofundeix en el procés d'avaluació de la seva qualitat a partir de l'anàlisi de tres dimensions (la validesa, la utilitat i la confiabilitat) i els seus respectius criteris d'avaluació. Específicament, la recerca al voltant de la qualitat de la SEA/DI s'ha dividit en tres estudis.

El primer estudi està centrat en l'avaluació en termes de validesa i utilitat. Els resultats d'aquest han apuntat diversos aspectes a millorar de la SEA/DI (per exemple, la redacció dels objectius d'aprenentatge plantejats o les eines de disseny utilitzades) que s'han anat redissenyant/refinant en els diversos prototips de SEA/DI elaborats.

El segon i tercer estudi, en canvi, s'han centrat en l'avaluació de la confiabilitat en termes d'aprenentatge del model corpuscular de matèria i del desenvolupament de l'habilitat de dissenyar preguntes de recerca respectivament. Per a això, s'han analitzat les produccions multimodals de l'alumnat, vídeos i àudios de les sessions i les notes de la investigadora. L'avaluació en termes de l'aprenentatge de les idees d'estructura i natura del model corpuscular de la matèria aplicades als fenòmens d'aire net i contaminat ens han permès observar una evolució en les idees i produccions de l'alumnat al llarg de la SEA/DI, així com identificar aspectes clau per a la definició i construcció d'aquesta idea al cicle superior de primària com, per exemple, la idea de semicontinuitat de la matèria o l'escala mesoscòpica. D'altra banda, l'anàlisi de la confiabilitat en termes del desenvolupament de l'habilitat de dissenyar preguntes científicament investigables també ens ha permès identificar tres dimensions clau per a l'anàlisi de la "investigabilitat" de les preguntes de recerca escolar i avaluar la dificultat que suposa cadascuna d'elles per a l'alumnat. L'ús d'aquestes dimensions d'anàlisi han posat de manifest una evolució d'aquesta habilitat dels nens i nenes al llarg de la SEA/DI amb l'ús d'una bastida per a l'alumnat i un feedforward docent ajustat. Les anàlisis fetes han facilitat el disseny d'una progressió d'aprenentatge empírica per a aquesta habilitat al cicle superior de primària.

Com a part d'aquesta recerca s'han publicat cinc articles o capítols de llibre en què es detalla tant els procediments de recerca com les principals aportacions de cadascun dels estudis d'aquesta tesi. A més a més, s'han planificat, dissenyat, implementat, avaluat i redissenyat/refinat iterativament 4 prototips de SEA/DI i una eina de bastida cognitiva que busca ajudar a l'alumnat en el procés de disseny i posada en pràctica d'una recerca científica escolar. Totes aquestes publicacions es troben en obert.



## RESUMEN

La presente tesis doctoral explora la planificación, diseño, implementación, evaluación y rediseño/refinamiento iterativo dentro del paradigma de investigación basada en el diseño (IBD), de una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA/DI) contextualizada en el problema de la contaminación atmosférica, con el objetivo de demostrar calidad en estar fundamentada en investigación, ser sujeto de investigación y aportar a la investigación. Específicamente, la SEA/DI busca que el alumnado del ciclo superior de primaria (10-12 años) mejore algunas de las ideas clave del modelo corpuscular de materia para esta edad, así como su habilidad para diseñar preguntas científicamente investigables.

Así, en primer lugar, en esta tesis se profundiza en los marcos teóricos de Práctica Científica (concretamente en el de modelos e indagación) e IBD. Especialmente en esta parte se define un marco teórico y metodológico para la evaluación de la calidad de las SEA/DI dentro de este paradigma que se pone en práctica a continuación en la investigación. Seguidamente, se describe el proceso de planificación, diseño, implementación, evaluación y rediseño/refinamiento de la SEA/DI siguiendo las etapas propias de una investigación IBD. Por último, se profundiza en el proceso de evaluación de su calidad a partir del análisis de tres dimensiones (la validez, la utilidad y la confiabilidad) y sus respectivos criterios de evaluación. Específicamente, la investigación alrededor de la calidad de la SEA/DI se ha dividido en tres estudios.

El primer estudio se centra en la evaluación en términos de validez y utilidad. Los resultados de estos han apuntado diversos aspectos a mejorar de la SEA/DI (por ejemplo, la redacción de los objetivos de aprendizaje planteados o las herramientas de diseño utilizadas) que se han ido rediseñando/refinando en los diversos prototipos de SEA/DI elaborados.

El segundo y tercer estudio, en cambio, se han centrado en la evaluación de la confiabilidad en términos del aprendizaje del modelo corpuscular de materia y del desarrollo de la habilidad de diseñar preguntas de investigación, respectivamente. Para ello se han analizado las producciones multimodales del alumnado, vídeos y audios de las sesiones y las notas de la investigadora. La evaluación en términos del aprendizaje de las ideas de estructura y naturaleza del modelo corpuscular de materia aplicadas a los fenómenos de aire limpio nos han permitido observar una evolución en las ideas y producciones del alumnado a lo largo de la SEA/DI, así como identificar aspectos clave para la definición y construcción de esta idea en el ciclo superior de primaria como, por ejemplo, la idea de semicontinuidad de la materia o la escala mesoscópica. Por otro lado, el análisis de la confiabilidad en términos del desarrollo de la habilidad de diseñar preguntas científicamente investigables también nos ha permitido identificar tres dimensiones clave para el análisis de la “investigabilidad” de las preguntas de investigación escolar y evaluar la dificultad que supone cada una de ellas para el alumnado. El uso de estas dimensiones de análisis ha puesto de manifiesto una evolución de esta habilidad de los niños y niñas a lo largo de la SEA/DI con el uso de un andamiaje para el aunado y un feedforward docente ajustado. Los análisis hechos han facilitado además el diseño de una progresión de aprendizaje empírica para esta habilidad en el ciclo superior de primaria.

Como parte de esta investigación se han publicado cinco artículos o capítulos de libro en que se detalla tanto el procedimiento de investigación como las principales aportaciones de cada uno de los estudios de esta tesis. Además, se han planificado, diseñado, implementado, evaluado y rediseñado/refinado iterativamente 4 prototipos de SEA/DI y una herramienta de andamiaje

cognitivo que busca ayudar al alumnado en el proceso de diseño y puesta en práctica de una investigación científica escolar. Todas estas publicaciones se encuentran en abierto.

## ABSTRACT

The present doctoral thesis explores the process of iteratively planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining within the design based research paradigm (DBR) of a teaching and learning sequence (TLS) contextualized in the phenomena air pollution that demonstrates quality by being both research and evidence-based, and by contributing to actual research. Specifically, the TLS is aimed at improving that 10-12-year-old students both their ideas about one of the main scientific models, the particulate model of matter; and their practice of designing scientific research questions.

First, in this research, two theoretical frameworks have been explored deeply: the Scientific Practices and the DBR ones. Concretely, in this section it has been defined a theoretical and methodological framework to evaluate the quality TLS designed from the DBR paradigm that it has been used in the following parts of this research. Then, it has been described the process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of the TLS following the three main stages of a DBR process. Finally, the quality of the TLS has been evaluated based on the analysis of three dimensions of quality identified, in terms of validity, usefulness, and reliability and the evaluation criteria related to them. The research around the quality of the TLS it has been divided in three main studies.

The first study is focused on the evaluation of the TLS in terms of validity and usefulness. The obtained results highlighted different aspects to improve in the TLS (for example, the learning objectives wording, or the design tools used) that has been redesigned /refined iteratively along the different prototypes.

The second and third study have been focused on the reliability in terms of both: learning achievement of the particulate model of matter, and the development of the practice of designing scientific research questions. For those, multimodal students' productions, videos, and audio recordings of the sessions and the researcher's notes have been used. The evaluation in terms of the construction of students' ideas regarding the particulate model of matter applied to the clean and polluted air phenomena underlined an evolution in the students' ideas and productions along the TLS. Moreover, the analysis also highlighted key aspects for the definition and construction of the particulate model of matter in the upper primary stage, such as the semicontinuity idea or the mesoscopic scale. On the other hand, evaluation in terms of the development of the students' scientific practice of designing scientific research questions has also helped us to identify three main dimensions to analyse the "investigability" of questions and to evaluate the difficulty that each one of them implies to the students. The use of this dimensions of analysis highlighted the students' evolution of this practice after the use of a specific scaffolding and the adequate teachers' feedforward. This analysis also helped us to design an empirical learning progression of this practice between 10-12-year-old students.

As part of this research we have been published five articles or book chapters where it has been detailed the research process and the main contributions of each study of this thesis. Additionally, it has also planned, designed, implemented, evaluated, and redesigned/refined iteratively four prototypes of the TLS and a cognitive scaffolding tool to help students in the process of design and carry out their own scientific research questions. All these contributions have been published in open access.



# ÍNDEX

PRESENTACIÓ .....	I
AGRAÏMENTS.....	III
RESUM.....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT.....	IX
ÍNDEX.....	XI
<b>SECCIÓ 1. INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>1</b>
<b>SECCIÓ 2. REFERENTS TEÒRICS I METODOLÒGICS.....</b>	<b>7</b>
2.1. L'ensenyament i aprenentatge de les ciències com a pràctica científica .....	9
2.1.1. La nostra visió dels models i la modelització a l'aula .....	12
2.1.1.1. El model corpuscular de matèria com un model clau a construir a l'etapa de primària.....	14
2.1.2. La nostra visió de la indagació a l'aula .....	16
2.1.2.1. La indagació com a contingut d'aprenentatge .....	18
2.1.3. La indagació basada en la modelització com un enfocament didàctic concret pel treball de les pràctiques científiques a l'aula .....	20
2.2. El disseny de seqüències d'ensenyament i aprenentatge i la seva recerca.....	21
2.2.1. La recerca basada en el disseny .....	22
2.2.2. L'avaluació de la qualitat de les seqüències d'ensenyament i aprenentatge des de la perspectiva IBD .....	27
2.2.2.1. Article 0. "¿Cómo sé que mi secuencia didáctica es de calidad? Propuesta de un marco de evaluación desde la perspectiva de la investigación basada en el diseño" .....	28
<b>SECCIÓ 3. OBJECTIUS, PREGUNTES DE RECERCA I ESTRUCTURA DE LA TESI.....</b>	<b>43</b>
3.1. Objectius i preguntes de recerca .....	45
3.2. Estructura de la tesi.....	47
<b>SECCIÓ 4. PROCÉS DE PLANIFICACIÓ, DISSENY, IMPLEMENTACIÓ I REDISENY/REFINAMENT D'UNA SEQÜÈNCIA D'ENSENYAMENT I APRENETATGE DES DE LA PERSPECTIVA IBD.....</b>	<b>51</b>
4.1. Presentació de la secció 4 .....	53
4.2. Procés de planificació, disseny, implementació i redisseny/ refinament d'una seqüència d'ensenyament i aprenentatge per alumnat del cicle superior de primària sobre el fenomen de la contaminació atmosfèrica des de la perspectiva IBD.....	56
4.2.1.Descripció de les fases i contextos de disseny i implementació de la SEA.....	56
4.2.1.1. Fase 1. Fonamentació inicial.....	56
4.2.1.2. Fase 2. Desenvolupament i implementació de la sea .....	59
4.2.1.3. Fase 3. Anàlisi retrospectiva .....	63

4.3. Productes principals del disseny iteratiu .....	65
4.3.1. Article 1.1. ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primària.....	66
4.3.2. Article 1.2. Com es pot ajudar a l'alumat a investigar en ciències?.....	77
<b>SECCIÓ 5. ANÀLISI DE LA QUALITAT D'UNA SEQÜÈNCIA D'ENSENYAMENT APRENENTATGE (SEA/DI).....</b>	<b>83</b>
5.1. Presentació de la secció 5 .....	85
5.2. Estudi 1. Anàlisi de la qualitat de la SEA/DI en termes de validesa i utilitat.....	87
5.2.1. Presentació de l'estudi de la qualitat en termes de validesa i utilitat (Estudi 1).....	87
5.2.2. Avaluació de la qualitat en termes de validesa.....	90
5.2.2.1. Anàlisi de la coherència interna de la SEA/DI.....	92
5.2.2.2. Anàlisi de la coherència teòrica de la SEA/DI.....	94
5.2.3. Avaluació de la qualitat en termes d'utilitat.....	97
5.2.3.1. Anàlisi de la practicitat de la SEA/DI.....	99
5.2.3.2. Anàlisi de la productivitat de la s SEA/DI .....	103
5.3. Avaluació de la qualitat de la SEA/DI en termes de confiabilitat (Estudis 2 i 3) .....	108
5.3.1. Presentació dels estudis sobre la qualitat de la SEA/DI en termes de confiabilitat (Estudis 2 i 3).....	108
5.3.2. Context de recerca dels estudis sobre la qualitat de la SEA/DI en termes de confiabilitat (Estudis 2 i 3) .....	112
5.3.2.1. Disseny i planificació de la intervenció educativa.....	112
5.3.2.2. Participants .....	119
5.4. Estudi 2. Anàlisi de la confiabilitat de la SEA/DI en termes de l'aprenentatge del model corpuscular de la matèria.....	121
5.4.1. Recollida de dades de l'Estudi 2.....	121
5.4.2. Anàlisi de dades de l'Estudi 2.....	123
5.4.3. Fiabilitat i validesa de la metodologia de l'Estudi 2 .....	127
5.4.4. Produccions de l'Estudi 2 .....	129
5.5. Estudi 3. Anàlisi de la confiabilitat de la SEA/DI en termes del desenvolupament de l'habilitat de dissenyar preguntes científicament investigables .....	146
5.5.1. Recollida de dades de l'Estudi 3.....	146
5.5.2. Anàlisi de les dades de l'Estudi 3 .....	148
5.5.3. Fiabilitat i validesa de la metodologia de recerca emprada .....	154
5.5.4. Produccions de l'Estudi 3 .....	156
5.6. Discussió de resultats de l'avaluació de la qualitat de la SEA/DI en termes de la confiabilitat .....	180
5.6.1. Anàlisi de l'eficàcia nivell 1 (o del disseny) de la SEA/DI.....	183

5.6.2. Anàlisi de l'eficàcia nivell 2 (o dels resultats) de la SEA/DI .....	184
5.6.3. Anàlisi de l'eficàcia nivell 3 (o de les teories) de la SEA/DI .....	186
<b>SECCIÓ 6. CONCLUSIONS, CONTRIBUCIONS I LIMITACIONS DE LA RECERCA.....</b>	<b>191</b>
6.1. Block 1. Conclusions and contributions related to: The theoretical and methodological framework to evaluate the quality of teaching and learning sequences (TLS) within a design based research (DBR) paradigm .....	192
6.2. Block 2. Conclusions and contributions related to: The evaluation of validity, usefulness, and reliability of a TLS on air pollution phenomena for 10-12-years-old students within a DBR paradigm .....	198
6.2.1. Conclusions and contributions related to the validity and usefulness of the theoretical and methodological framework to evaluate a specific TLS for 10-12-year-old students about clean and polluted air within a DBR paradigm.....	198
6.2.2. Conclusions and contributions related to the use of the theoretical and methodological framework to evaluate the effectiveness at level 2 and 3 of the specific TLS for 10-12-year-old students about clean and polluted air within a DBR paradigm .....	202
6.2.2.1. Conclusions and contributions related to the reliability of the TLS in terms of the construction of students' ideas regarding the particulate model of matter applied to the clean and polluted air phenomena .....	203
6.2.2.2. Conclusions and contributions related to the reliability of the TLS in terms of the development of students' scientific practice of designing scientific research questions ...	206
6.3. Block 3: conclusions related to the: Educational outputs and research implications of the evaluation of quality of a TLS within a DBR paradigm .....	209
6.4. Limitations and future research questions .....	214
<b>SECCIÓ 7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>219</b>
Índex de taules .....	239
Índex de figures.....	241
<b>ANNEX .....</b>	<b>243</b>





**SECCIÓ**

**1**

**INTRODUCCIÓ**



## 1

## INTRODUCCIÓ

Aquesta tesis neix de la necessitat personal i alhora professional de, com a mestra, incorporar a l'aula de primària unes ciències més autèntiques que permetin a tot l'alumnat la comprensió dels fenòmens del seu entorn alhora que fomenten la seva actuació informada sobre els mateixos. I fer-ho a partir d'involucrar als infants en pràctiques científiques escolars genuïnes i epistemològicament coherents amb les de la ciència professional.

En aquest sentit, aquesta recerca busca superar alguns dels plantejaments habituals a les aules de ciències de primària del nostre context. Per exemple, les aules centrades únicament en la transmissió dels productes de la ciència com a afirmacions tancades i vertaderes en totes les condicions (p.ex. l'aire està format per un 78% de nitrogen, 21% d'oxigen i un 1% d'altres gasos com l'argó i el diòxid de carboni); les aules amb un enfocament únicament centrat en el desenvolupament d'aspectes procedimentals de la ciència però sense un lligam entre aquests i la construcció de coneixements conceptuals clau (p.ex. activitats on l'alumnat disposa d'una lupa per observar però sense definir què observar o amb quin propòsit es fa la observació); o els plantejaments de recerca que segueixen "el mètode científic" entès com un procés universal amb passos lineals i directes ben establerts seguit per totes les disciplines científiques.

Totes les propostes anteriors contrasten amb un dels marcs teòrics de major reconeixement tant nacional com internacionalment en didàctica de les ciències: el marc de les Pràctiques Científiques (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2012; NRC, 2012; Osborne, 2014). En aquest marc, l'ensenyament i aprenentatge de les ciències s'entén com un procés de participació activa de l'alumnat en activitats cognitives, discursives i socials de ciència escolar anàlogues a les de la ciència professional. Específicament s'identifiquen tres esferes d'activitat interconnectades entre elles com les més rellevants: la modelització, la indagació i l'argumentació científiques.

El context actual, després de l'esclat de la pandèmia de la COVID-19 i la rellevància creixent d'altres problemàtiques científiques i socials amb conseqüències cada vegada més evidents com el canvi climàtic, la contaminació atmosfèrica, etc. han subratllat la necessitat d'aprofundir i repensar alguns aspectes tant del "què" i el "com" es fa ciències a les escoles com del "qui" i el "perquè" (Erduran, 2020; Osborne et al., 2022).

Seguint les idees de Couso (2017), Couso & Puig (2021), Domènech (2021), i de manera coherent amb marcs anteriors com el de ciència, tecnologia i societat (CTS) o el marc de controvèrsies sociocientífiques (SSI) (Evagorou, Nielsen, et al., 2020; Perales & Aguilera, 2020), apoderar a l'alumnat per donar resposta a les problemàtiques ambientals i reptes sociocientífics requereix el plantejament d'un ensenyament i aprenentatge de les ciències epistemicament més autèntic i coherent amb les maneres de fer, pensar i parlar de ciència a les aules. Això implica alhora incloure de manera explícita i visible a les propostes educatives valors, diversitat de perfils, proposar contextos rellevants i fomentar en l'alumnat la reflexió entorn a aquests (Sanmartí & Márquez, 2017). Així, des d'aquest marc l'alfabetització científica i la seva ciutadania s'entén no només com la capacitat de comprensió i decisió davant de les problemàtiques sinó com l'apoderament de l'alumnat per a la seva actuació informada (OCDE, 2020).

La comparació entre les situacions d'ensenyament i aprenentatge de les ciències habituals a l'aula de primària i les propostes apuntades des de la recerca a les que hem fet referència posen de manifest que, com en molts d'altres casos, existeix una "escletxa" creixent entre la pràctica (allò que passa en el dia a dia de l'aula) i la investigació (allò que interessa a la recerca en didàctica de les ciències) (Biesta, 2007; Blanco López et al., 2018; Broekkamp & Van Hout-Wolters, 2007; McIntyre, 2005; Zembal-Saul, 2017).

Estem d'acord amb Oliva (2005) que els motius que poden explicar aquesta escletxa són diversos. Entre aquests trobem, d'una banda, el distanciament entre els problemes d'ensenyament i aprenentatge de l'aula i els plantejaments d'investigació i, d'altra banda, l'excessiu focus que en moltes ocasions la recerca ha posat en allò que l'alumnat i/o els docents no saben fer o no feien adequadament però sense plantejar i desenvolupar idees concretes, activitats, seqüències d'ensenyament i aprenentatge (SEAs) o altres eines per ajudar-los en la seva superació (Couso, 2016).

Amb el propòsit d'establir connexions entre les idees o marcs plantejats en la recerca en didàctica de les ciències i la realitat de les aules, des de finals dels 80 ha emergit amb força el paradigma de la investigació basada en el disseny (IBD per les sigles en castellà o DBR per les seves sigles en anglès) (Guisasola et al., 2021). Aquest advoca pel disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament de seqüències d'ensenyament i aprenentatge (SEAs) amb formats molt diversos (p.ex. seqüències completes, projectes, activitats més concretes...) com una bona estratègia tant per a) a l'obtenció de SEAs i eines didàctiques de qualitat basades en els marcs apuntats per la recerca i provades a les aules; i b) per a la progressiva construcció i validació de principis i eines que permetin operativitzar el procés de disseny i la presa de decisions associada (DBR Collective, 2003).

En aquest sentit, la tesis té la voluntat d'anar més enllà de la generació de bons contextos d'aula i d'investigació per aprofundir en "què" i "com" passen les coses a l'aula de ciències de primària. Aquesta recerca busca contribuir en la seva transformació a partir de generar situacions d'ensenyament i aprenentatge que incorporin algunes idees i eines del marc de la recerca en didàctica de les ciències actual (p.ex. els cicles de modelització -Couso, 2020; Couso & Garrido-Espeja, 2017- i d'indagació -Jiménez-Liso, 2020-) i que es concreten en el disseny d'una seqüència didàctica i en unes eines concretes i de qualitat. Concretament, la SEA plantejada, dissenyada, implementada, avaluada i redissenyada/redefinida en aquesta recerca al llarg de quatre prototips busca ajudar a l'alumnat de 5è i 6è curs de primària (10-12 anys) en la construcció d'algunes idees d'un dels models claus de la química, el model corpuscular de matèria; i alhora busca desenvolupar les habilitats d'indagació de l'alumnat, especialment aquelles relacionades amb el disseny de preguntes investigables. Per fer-ho, aquesta es contextualitza en una problemàtica mediambiental actual i rellevant que demana d'actuacions conscients per part de la ciutadania, com és la contaminació atmosfèrica (Basagaña, 2018; OCDE, 2020).

Tot i que no era la voluntat inicial d'aquesta recerca, l'ús del paradigma IBD pel disseny, implementació i millora iterativa tant de la recerca, com dels productes resultants (la SEA i les eines didàctiques), ha fet emergir la necessitat de revisar i operativitzar què entenem per qualitat de les SEAs fonamentades en recerca i com avaluar-la durant el procés de planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament de les mateixes en la pràctica. La revisió de propostes prèvies relacionades amb l'avaluació de SEAs i materials escolars (Hernández Rodríguez, 2018; Millar et al., 2002; Plomp & Nieveen, 2013) ens ha portat a proposar un marc teòric i metodològic per a l'avaluació i millora iterativa de la qualitat de les

SEAs. Aquesta es basa en l'avaluació de tres dimensions de qualitat (validesa, utilitat i confiabilitat) i l'ús de diferents criteris d'avaluació (p.ex. la coherència teòrica o l'eficàcia nivell 3). L'ús d'aquest marc en ha permès anar avaluant la SEA desenvolupada, identificar els aspectes a millorar i anar-los redissenyant/refinant iterativament com a part del procés de recerca.

Aquesta tesi està formada per 7 seccions i un annex on es van presentant els diversos aspectes treballats necessaris per respondre als nostres objectius i preguntes de recerca. Després d'aquesta primera secció d'introducció, a la secció 2 s'aprofundeix en aquells aspectes clau dels marcs teòrics i metodològics que guien aquesta recerca. A continuació, a la secció 3 es concreten els objectius i preguntes de recerca i s'aprofundeix en l'estructura de la tesi tot apuntant-ne els diferents estudis que la formen. Un cop definits els objectius i les preguntes de recerca, a la secció 4 es descriu el procés de planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament des de la perspectiva IBD que s'ha seguit i que ha donat lloc a quatre prototips de SEA/DI i a una eina didàctica de bastida per a l'alumet. La secció 5, en canvi, se centra únicament en el procés d'avaluació de la qualitat de la SEA/DI en funció de les tres dimensions de qualitat identificades (validesa, utilitat i confiabilitat) i als seus respectius criteris d'avaluació. Aquesta secció 5 s'ha dividit en tres estudis, l'estudi 1 centrat en l'avaluació en termes de validesa i utilitat; i uns estudis 2 i 3 centrats en l'avaluació de la confiabilitat en termes de l'aprenentatge del model corpuscular de matèria i de l'habilitat de dissenyar preguntes investigables respectivament. Seguidament, la secció 6 es recullen les principals conclusions, contribucions i limitacions de la recerca. Finalment, a la secció 7 s'adjunta tota la bibliografia utilitzada al llarg de la tesi.



**SECCIÓ**

**2**

**REFERENTS TEÒRICS I  
METODOLÒGICS**





## 2

## REFERENTS TEÒRICS I METODOLÒGICS

### 2.1. L'ENSENYAMENT I APRENTATGE DE LES CIÈNCIES COM A PRÀCTICA CIENTÍFICA

Inspirant-se en les idees de Kuhn (1962) que advoquen per una ciència molt més humanista, i en les recerques en diversos camps de la ciència com la filosofia, la història, la sociologia o l'epistemologia, entre altres, diversos autors han identificat i caracteritzat la ciència professional a partir d'un conjunt de pràctiques (Kelly & Chen, 1999; Osborne 2014). Des d'aquesta perspectiva la ciència no s'entén, doncs, com una activitat purament racional sinó com el resultat d'una activitat humana de tipus cultural, realitzada per una comunitat de professionals implicats en pràctiques específiques i ben consensuades (Jiménez-Aleixandre, 2012; NRC, 2012).

En aquest sentit, la reconceptualització de la ciència professional a partir de les reflexions de filòsofs com Giere (1992) i altres professionals de diverses disciplines, ha impulsat també una revisió sobre el "què" i el "com" s'aprèn i s'ensenya ciències tot buscant promoure un aprenentatge epistèmicament més autèntic. Un dels enfocaments amb un gran reconeixement tant en l'àmbit internacional com nacional és el de les Pràctiques Científiques (Crujeiras Pérez & Jiménez Aleixandre, 2012; NRC, 2012; Osborne, 2014).

Des d'aquest marc, l'ensenyament i aprenentatge (E/A) de les ciències ha de fomentar la participació de l'alumnat en processos de construcció, avaluació i comunicació del coneixement científic (Jiménez-Aleixandre & Crujeiras, 2012). Des d'aquesta perspectiva, el treball a l'aula de ciències ha d'implicar la participació activa dels estudiants en activitats que són de naturalesa cognitiva, discursiva i social, i que resulten anàlogues a les de la ciència professional perquè tenen el mateix objectiu de construir coneixement sobre el món. Així, ensenyar i aprendre ciències des d'aquest marc de pràctica científica implica desenvolupar una manera de fer, pensar i parlar a l'aula pròpia de la ciència que els permeti explicar i prendre decisions informades sobre el món que els envolta (Crujeiras Pérez & Jiménez Aleixandre, 2012; Garrido Espeja & Couso, 2017; Izquierdo, Sanmartí, et al., 1999; Kelly, 2008; NRC, 2012).

Concretament, la recerca ha identificat tres processos, dimensions, pràctiques epistèmiques o esferes d'activitat que defineixen l'activitat de les persones que es dediquen a la ciència de manera professional (Duschl & Grandy, 2013; Osborne, 2014): (1) la construcció de teories i models (modelització), (2) la recollida i anàlisi de dades provinents d'observacions o de l'experimentació (indagació) i (3) l'avaluació de proves i construcció d'arguments (argumentació). Estem d'acord amb diversos autors que apunten que aquestes pràctiques han d'impregnar també el dia a dia de les aules de ciències a tots els nivells perquè permeten a l'alumnat construir coneixements "de" i "sobre" ciències rellevants i, a més, apreciar la fonamentació epistemològica de la ciència. Ambdós es consideren aspectes fonamentals pel seu aprenentatge i posicionament respecte a la ciència, especialment en l'era de la postveritat (Couso & Puig, 2021; Erduran & Evagorou, 2012).

Dins d'aquest marc, les pràctiques científiques s'entenen aleshores com un contingut a aprendre i com a enfocament didàctic (Duschl & Grandy, 2008; Kelly & Chen, 1999; Osborne, 2014; Schwarz et al., 2009; Windschitl et al., 2008).

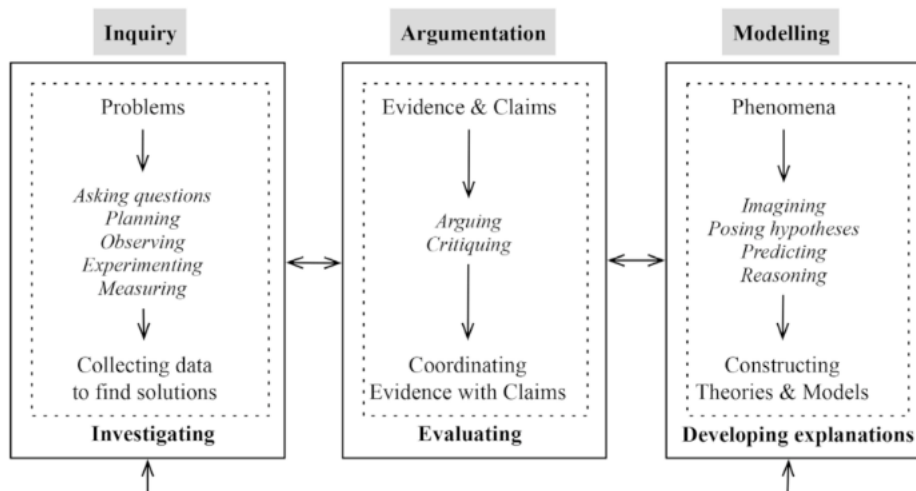
Des del punt de vista de la pràctica científica com a contingut de naturalesa procedimental i epistèmica a aprendre, diversos autors han identificat i desenvolupat un seguit de pràctiques científiques per treballar i aprendre ciències a l'aula (Bybee, 2011; J. S. Krajcik & Merritt, 2012). La proposta més reconeguda i amb major influència és la de la NRC (2012) que identifica les següents 8 pràctiques científiques com les principals:

1. Formulació de preguntes (científiques)
2. Desenvolupament i ús de models
3. Planificació i realització d'investigacions
4. Anàlisi i interpretació de dades
5. Ús del pensament matemàtic i computacional
6. Construcció d'explicacions
7. Construcció d'arguments d'acord amb les proves
8. Obtenció, avaluació i comunicació d'informació.

En relació amb la pràctica científica com a enfocament didàctic, s'ha posat de manifest que, donada la naturalesa d'aquestes pràctiques, només si l'alumnat s'involucra en un procés de socialització dins de la cultura científica, aquest serà capaç de construir els coneixements necessaris i alhora una idea epistemològicament adequada sobre com es construeix la ciència (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2012; Rosalind Driver et al., 2000; Duschl & Grandy, 2008; Kelly, 2008). Així, des d'una visió de l'aprenentatge de naturalesa socialment situada i d'arrel comunitària que compartim amb Bransford et al. (2000), és necessari trencar amb la idea de l'alumnat com a receptor passiu de l'aprenentatge per passar a involucrar-lo en fer, pensar i actuar científicament en una comunitat (d'aprenents de ciències) que es dedica a les activitats de creació, avaluació i comunicació de coneixement científic escolar (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003; NRC, 2012; Schwarz & Gwekwerere, 2006). Només d'aquesta manera l'alumnat es pot apropiat d'aquest contingut.

La diferenciació entre les pràctiques científiques com a contingut a aprendre i com a enfocament didàctic que hem fet anteriorment és útil per entendre en profunditat les implicacions d'aquest marc, tot i que cal tenir en compte que sovint a l'aula totes dues dimensions es donen alhora (Crujeiras Pérez & Jiménez Aleixandre, 2012).

Tot i que l'enfocament de les pràctiques científiques pugui semblar allunyat de la realitat de la majoria dels centres educatius, els canvis curriculars impulsats als EUA (NRC, 2012) posen l'accent precisament en la necessitat d'un enfocament que tingui en compte no només els productes sinó també els processos i el raonament epistèmic de la ciència (Garrido Espeja, 2016). A més a més, aquest marc és coherent amb el marc de l'alfabetització científica de PISA (OCDE, 2015) tal com es pot observar en el paral·lelisme establert per Jiménez-Aleixandre i Crujeiras (2017) a la Figura 1.



**Figura 1.** Figura realitzada per Jiménez-Aleixandre & Crujeiras (2017) en la que es relacionen les diferents dimensions del marc de la pràctica científica (part superior de la figura), amb les dimensions de l'alfabetització científica del marc de PISA (2015) (part inferior de la figura). Al centre de la figura, es poden observar algunes de les pràctiques... que es relacionen amb cadascuna de les dimensions mencionades.

Tot i la vigència i adequació del marc anterior i de les relacions identificades per les autores entre les 8 pràctiques de la NRC i les tres competències centrals de PISA, estem d'acord amb Couso & Puig (2021) que en l'era de la postveritat, i especialment després de la crisi de la COVID-19 és necessari matisar alguns aspectes relacionats amb les dimensions de la competència científica. En aquest sentit, les autores proposen, per exemple, incloure de manera explícita el coneixement epistèmic i/o idees sobre la naturalesa de la ciència que estan implicades en cadascuna de les tres competències científiques (OCDE, 2015). Concretament, redefeixen les tres dimensions de la competència científica de la següent manera:

1. Explicar fenòmens científicament a partir de les idees científiques consensuades avui.
2. Participar en i reflexionar sobre l'activitat científica (tant indagativa com modelitzadora) de la ciència.
3. Argumentar en ciències aplicant el pensament crític.

En un context més local, el marc de la pràctica científica presentat ressona amb el marc de l'Activitat Científica Escolar (ACE) en el que s'han format les autores d'aquest treball (Izquierdo i Aymerich, 2005; Izquierdo, 2005; Izquierdo, Espinet, et al., 1999). Des d'aquest marc per a l'alfabetització i apoderament competencial de l'alumnat també cal involucrar-lo en pràctiques anàlogues a les de la ciència, tot posant una especial atenció en les pràctiques de modelització com a esfera clau i idiosincràtica de l'activitat científica modelo-teòrica, seguint a Giere (Adúriz-Bravo et al., 2009). Per fer-ho, l'objectiu d'aquest, des de la perspectiva de l'ACE es proposa l'estudiantat l'estudi de diferents fenòmens paradigmàtics que els permetin la construcció d'uns pocs però molt rellevants models de ciència escolar en concret. Així, no només es busca que l'alumnat pugui interpretar el món que els envolta sinó, busca fomentar també la seva participació activa en els contextos locals i la seva capacitat per obtenir i interpretar la informació necessària en cada moment i cada context (Pérez-Torres, 2022; Neus Sanmartí & Márquez, 2017). Així, a l'ACE el context i, especialment la selecció de fenòmens paradigmàtics i models clau adquireix una rellevància cabdal.

### 2.1.1. LA NOSTRA VISIÓ DELS MODELS I LA MODELITZACIÓ A L'AULA

---

Diverses investigacions han posat de manifest la gran polisèmia que existeix entorn dels termes models i la modelització (Gutierrez, 2014; Oh & Oh, 2010; Oliva, 2019).

En aquesta recerca seguim la perspectiva presentada per Izquierdo (i similar a la d'Oh & Oh, 2010) en la que es defineixen els model científics com unes representacions mentals de naturalesa teòrica/conceptual que ens permeten descriure, predir, explicar i/o interpretar els fenòmens del món natural (Izquierdo et al., 1999). Ens allunyem així dels autors que defineixen els models com quelcom físic/artefactual i manipulable similar a una maqueta, simulació, dibuix... (Louca & Zacharia, 2015), tot entenent que aquests models físics encapsulen idees dels models de la ciència, el professorat o l'alumnat. Des de la nostra perspectiva, aquestes representacions artefactuals, com totes les representacions d cada model, són considerades les expressions formals i parcials del model però no el model en si (Oliva, 2019).

Donada la gran importància dels models dins de la comunitat científica, diversos autors han posat de manifest la necessitat de concebre aquests com un objectiu d'aprenentatge a l'aula de ciències de les escoles i instituts (Gutierrez, 2014; Izquierdo Aymeric, 2014; Merino & Sanmartí, 2008; Oh & Oh, 2010). D'acord amb els autors anteriors i altres, als centres educatius els models científics han de ser escolars (MCE), és a dir, reconstruccions educatives consensuades o models anàlegs, que no iguals, als models científics teòrics, triats i adaptats pel seu gran potencial per explicar molts fenòmens com per exemple el model corpuscular de la matèria (Couso & Garrido-Espeja, 2017; Duit, 2007; Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003; Izquierdo Aymeric, 2014). Aquests MCE objecte d'aprenentatge estan formats alhora per les idees clau de naturalesa teòrica/conceptual consensuades (p.ex. la idea que la matèria està formada per parts i que entre aquestes parts hi ha buit) i per un conjunt de representacions de naturalesa física/artefactual que ajuden a la construcció de les idees clau (p.ex. l'ús de boles i unions físiques per a la representació en 3D de l'estructura de les molècules o les representacions simbòliques) (Couso et al., 2021). A més a més, d'acord amb l'autora anterior, aquests són intencionals i adaptatius, és a dir, es relacionen amb aspectes concrets que ens interessen per explicar una realitat concreta en un moment determinat i creixen i es van sofisticant a mesura que necessitem explicar els fenòmens amb més minuciositat o l'actuació sobre aquests requereix més profunditat (Couso, 2015).

A més a més, des d'una visió de l'ensenyament i aprenentatge com una progressió d'idees (*learning progression* a la literatura en anglès) cada vegada cap a idees més sofisticades i properes a les de la ciència professional (Corcoran et al., 2009; Duschl et al., 2011; Talanquer, 2020), també és important identificar quines són les idees intermèdies (en anglès, *stepping stones*) (Campbell et al., 2016; Vergara et al., 2020; Zabel & Gropengiesser, 2011) i el model científic escolar apropiat (en anglès, *target model*) que volem que utilitzin els alumnes en cada etapa (Garrido Espeja, 2016; Rea-Ramirez, 2008). En aquest sentit, triar quins models i quina versió del model modelitzar implica aspectes relacionats amb la transposició didàctica (Acher et al., 2007; Oliva, 2019) i la reconstrucció educativa (Duit, 2007).

La construcció dels models implica l'esfera d'activitat científica de la Modelització. Com hem comentat a l'inici d'aquest apartat, també trobem a la literatura una àmplia polisèmia en l'ús de la paraula modelització. Oliva (2019) distingeix a la literatura cinc accepcions de la idea de modelització: com a progressió de models, com a pràctica científica, com a competència, com a dimensió instrumental i com a enfocament didàctic.

En aquesta recerca, entenem la modelització com un enfocament privilegiat per ajudar a l'alumnat en la construcció de models cada vegada més sofisticats a partir d'aproximacions successives on l'alumnat expressa les seves idees inicials, les posa a prova, revisa les idees d'acord amb les noves proves obtingudes i finalment expressa el seu model consensuat (Clement, 2000; Couso & Garrido-Espeja, 2017; Schwarz et al., 2009). Dit d'una altra manera, la modelització s'entén com un procés iteratiu de participació social i personal dels alumnes en una pràctica anàloga a la dels científics que els ha de permetre construir models cada vegada més sofisticats (Acher et al., 2007; Louca & Zacharia, 2015).

Així, d'acord amb diversos autors, la incorporació dels models i la modelització a l'aula de ciències té alhora finalitats epistèmiques i epistemològiques (Couso & Garrido-Espeja, 2017; Lehrer & Schauble, 2019). En aquest sentit, la modelització a l'aula ha de permetre a l'alumnat millorar iterativament els seus models i alhora, comprendre i apropiar-se de les habilitats, destreses i valors d'una de les maneres més sofisticades de com els individus i les comunitats generen coneixement científic (Izquierdo Aymeric, 2014; Lehrer & Schauble, 2019; Nicolaou & Constantinou, 2014).

Ensenyar i aprendre ciències des d'una perspectiva modelitzadora és, doncs, molt més que una transmissió directa d'un "model científic consensuat" als alumnes, com a coneixement acabat. Modelitzar a l'aula perquè l'alumnat esdevingui competent, implica el desenvolupament tant les seves habilitats de modelització (p.ex. construir models, usar models, comparar models i revisar models) com del seu metaconeixement (p.ex. metaconeixement sobre el procés de modelització, sobre la naturalesa dels models...) (Nicolaou & Constantinou, 2014; Papaevripidou et al., 2014; Schwarz & White, 2005).

Tot i la importància que la investigació en educació científica ha atribuït als models i la modelització com a activitats essencials a l'aula de ciències des de les primeres etapes (Acher et al., 2007; Couso & Garrido-Espeja, 2017; Duschl & Grandy, 2008; NRC, 2012), aquesta pràctica no és habitual a les escoles (Merino & Sanmartí, 2008; Schwarz et al., 2009). En la majoria dels casos s'ha atribuït als models un rol il·lustratiu (ensenyar el model) molt allunyat del procés de construcció d'aquest a partir de la participació de l'alumnat en pràctiques de modelització... (Lehrer, 2012; Windschitl, 2008). La presència anecdòtica a les aules d'aquesta pràctica moltes vegades s'atribueix, a la idea que l'alumnat d'aquestes edats no és capaç de pensar en abstracte (Acher et al., 2007; Garrido Espeja, 2016; Schwarz et al., 2009) i a la persistència d'una visió entre els docents de l'ensenyament i aprenentatge de la ciència centrada en els productes (Pujol, 2003).

No obstant això, les recerques en l'àmbit han apuntat que els nens i les nenes són capaços, des de petits, de pensar tant en concret com en abstracte i generar representacions verbals i gràfiques sobre els mecanismes subjacents a diferents fenòmens que els envolten sempre i quan la demanda que se'ls faci sigui d'un nivell cognitiu apropiat i el procés de modelització estigui ben acompanyat/guiat pels docents (Acher et al., 2007; Lehrer & Schauble, 2019; Schwarz et al., 2009).

A banda de la rellevància epistèmica i epistemològica dels models i la modelització, diversos estudis identifiquen aquest com un enfocament instruccional útil pel disseny i avaluació de seqüències d'ensenyament i aprenentatge (SEAs) basades en la construcció de models (Louca et al., 2011; Windschitl et al., 2008). Així, diferents autors han intentat identificar i definir un seguit de passos en forma de cicles o seqüències pel disseny SEAs que promoguin la modelització a les aules (Hernández et al., 2015; Justi & Gilbert, 2002; Schwarz et al., 2009; Windschitl et al., 2008).

En el nostre context, una de les propostes més conegudes és la del cicle de modelització proposat per Garrido i Couso (2020; basat en Couso & Garrido-Espeja, 2017) (Figura 2). En aquest cicle les autores diferencien sis pràctiques de modelització en les que cal involucrar a l'alumnat (part interior de la Figura 2), cadascuna de les quals es relaciona i concreta amb una fase de la seqüència d'ensenyament i aprenentatge centrada en la modelització (part exterior de la Figura 2). Així per exemple, per fomentar que l'alumnat avalui el model (fase 3 del cicle) el docent/dissenyador ha de proposar activitats que ajudin a aquest a posar a prova les seves idees del model tot promovent l'anàlisi de l'adequació, facilitant l'estudi en profunditat del fenomen i/o l'obtenció de proves...

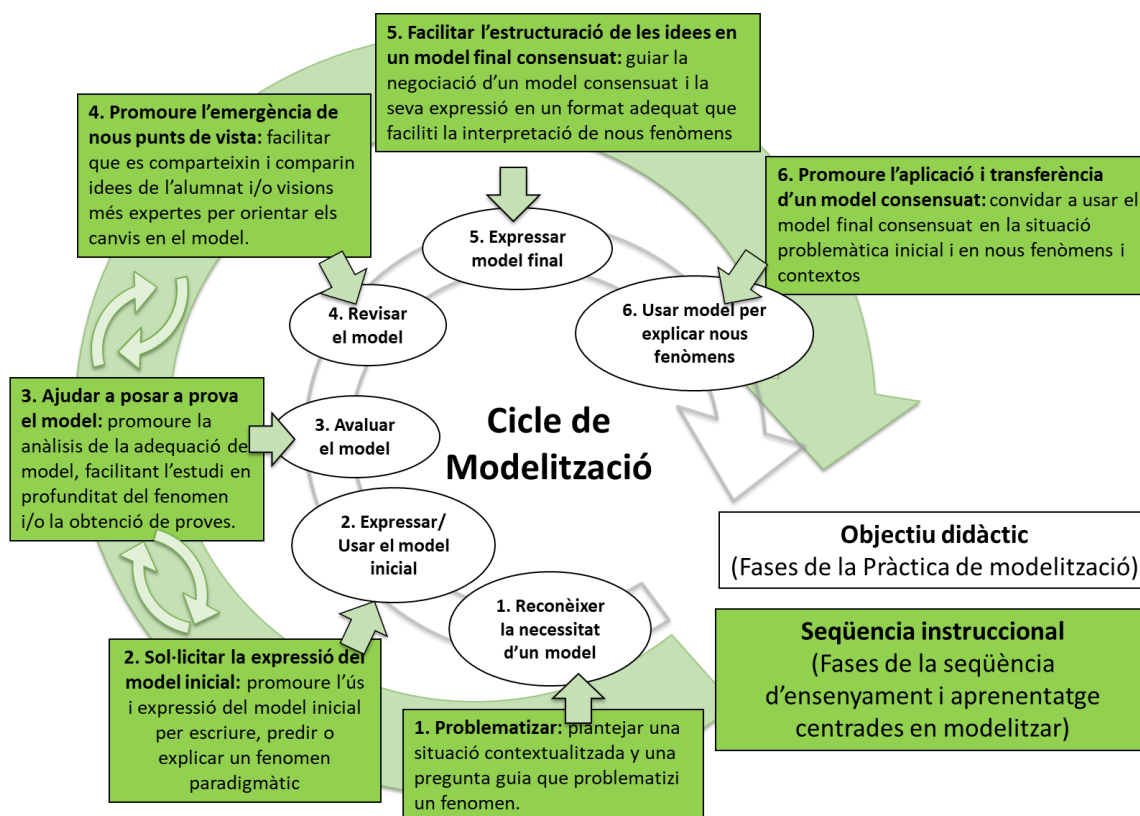


Figura 2. Cicle de Modelització proposat per Couso (2020) basat en la proposta de Couso i Garrido-Espeja (2017).

Aquesta proposta de cicle de modelització ha demostrat ser útil tant pel disseny de SEA per a diferents nivells educatius (Solé et al., 2020; Soto Alvarado, 2019; Tena, 2021) com per a l'avaluació de SEAs (Solé, Hernández, et al., 2019).

### 2.1.1.1. El model corpuscular de matèria com un model clau a construir a l'etapa de primària

Un dels models clau de la ciència i, conseqüentment, un dels models científics escolars clau és el model matèria (en anglès, *particle model of matter*) i més especialment la idea de la corpuscularitat de la matèria com a característica a escala microscòpica que explica la realitat a escala macroscòpica (Harlen, 2015; Liu & Lesniak, 2006).

Donada la gran importància d'aquest model per a les ciències, nombroses recerques han centrat la seva atenció en les idees dels alumnes i la seva progressió al llarg de l'escolaritat (Rosalind Driver et al., 1994; Duit, 1993; Furió-Mas et al., 2006; Jan Christoph Hadenfeldt et al., 2014; Liu & Lesniak, 2006). En aquestes s'han identificat nombroses idees alternatives per part de

l'alumnat, moltes d'elles lligades a les seves experiències sensorials directes (Driver et al., 1994). Alguns exemples són: la idea que la matèria és contínua perquè es percep continua o l'atribució de propietats macroscòpiques (p.ex. el color) a partícules microscòpiques (Driver et al., 1994; Talanquer, 2018).

A més a més, les recerques en aquest camp apunten que les idees alternatives de l'alumnat són més importants en el cas de la matèria en estat gasós i especialment pel cas de l'aire net, ja que és una substància incolora, inodora, insípida... (Driver et al., 1994). En aquest sentit, per exemple, trobem que sovint l'alumnat pensa que els gasos no són matèria sinó quelcom abstracte com els pensaments; que aquests no tenen massa ni pes o, fins i tot, quan són coneixedors de la idea de partícules, molts d'ells consideren que els gasos no estan formats per aquestes, o que aire i oxigen són sinònims (Driver et al., 1994; Hadenfeldt et al., 2014; Merritt & Krajcik, 2013; Talanquer, 2009; Thornber et al., 1999).

Conèixer les creences de l'alumnat sobre el model matèria i com aquestes idees progressen al llarg de l'escolaritat esdevé doncs essencial per poder ajudar als i les alumnes a superar les seves limitacions (Karata et al., 2013). Tot i això, la literatura ha posat de manifest que massa sovint aquestes no es tenen en compte en els dissenys de les SEAs i apunten aquest com un dels motius de la poca evolució en les idees dels estudiants al llarg de l'escolaritat (Karata et al., 2013; Merritt & Krajcik, 2013).

Les recerques sobre idees alternatives i la seva progressió identifiquen essencialment quatre dimensions conceptuals a tenir en compte en relació amb la matèria: la composició, l'estructura, les propietats i els tipus de matèria (Talanquer, 2020). Tot i la importància de totes elles, en aquesta recerca ens centrem essencialment en dues: l'estructura (que es relaciona amb el grau de discontinuïtat de la matèria) i la composició, què en aquesta recerca hem anomenat natura, (que fa referència a la naturalesa de les partícules individuals que formen la substància).

D'altra banda, la interpretació i acció davant d'algunes de les problemàtiques i/o reptes mediambientals de la nostra societat (p.ex. fenòmens com la contaminació atmosfèrica, els microplàstics...) han posat sobre la taula, d'una banda, la importància de la comprensió profunda del model corpuscular de la matèria; i, d'altra banda, la necessitat d'anar més enllà de l'enfocament tradicional amb què s'ha abordat aquest (Solé et al., 2020). Per exemple, aprofundint a l'aula en el treball explícit de les diferents escales involucrades: la macroescala - que comprèn les mides entre 0,1 i 1m-, mesoescala - que comprèn les mides entre  $10^{-7}$  i  $10^{-1}$ m- i submicroescala - que comprèn les mides entre  $10^{-10}$  i  $10^{-9}$  m (Meijer et al., 2013). O fent explícita la polisèmia de la paraula partícula que pot designar alhora: parts petites de sòlids a la mesoescala (p.ex. partícules de pols), àtoms i molècules en la submicroescala (p.ex. partícules que foment els gasos) i en educació superior fins i tot aspectes a nivell submicroscòpic (p.ex. "partícules submicroscòpiques anomenades nucleons") (Blanco & Prieto Ruz, 1996; Solé et al., 2020; Taber, 2013; Solé et al., in press).

Dels fenòmens destacats anteriorment com a rellevants, en aquesta recerca ens centrem en el de la contaminació atmosfèrica i concretament en la causada per la matèria particulada sòlida en suspensió (PM per les sigles en anglès de *particulate matter*). Aquest fenomen ha estat identificat com un dels reptes principals de les grans ciutats i s'han reportat grans efectes sobre la salut d'humans, animals, plantes...(Basagaña, 2018; Gignac et al., 2021). A més a més, aquest fenomen ha estat identificat com un element clau per a la promoció de l'alfabetització científica en el segle XXI (Nacions Unides, 2017; OCDE, 2020).

Tot i la importància del fenomen de la contaminació atmosfèrica, diversos autors apunten que el coneixement general sobre la seva complexitat, els efectes que provoca i les estratègies de reducció és molt limitat entre la població (Mandrikas et al., 2017). A més a més, aquests sovint estan centrats en les idees sobre les fonts de contaminació i l'impacte que la contaminació té en els ecosistemes (Boyes & Stanisstreet, 1997; Dimitriou & Christidou, 2007; Pruneau et al., 2005; Skamp et al., 2004) però no en la naturalesa del fenomen i el seu comportament.

D'acord amb Mandrikas et al. (2017) les recerques sobre aquest fenomen en l'etapa d'educació primària, i especialment en un context d'ensenyament aprenentatge, són gairebé inexistent. Les poques recerques en aquest àmbit mostren que l'alumnat ja presenta idees sobre què és la contaminació de l'aire a partir dels sis anys (Skamp et al., 2004). Però en la majoria dels casos aquestes no es troben en línia amb les idees de la ciència (Boyes et al., 2007). Un exemple d'això és que molts associen la contaminació al diòxid de carboni o confonen la contaminació atmosfèrica amb altres problemes mediambientals com la degradació de la capa d'ozó, l'efecte hivernacle o els CFCs (Iliopoulou, 2016; Thornber et al., 1999).

### **2.1.2. LA NOSTRA VISIÓ DE LA INDAGACIÓ A L'AULA**

---

A partir de la publicació de l'informe Rocard (2007) i de plantejaments que aposten per una ciència escolar més autèntica que involucri als estudiants tant en investigacions guiades com obertes sobre diferents fenòmens (Abril et al., 2014), les propostes d'ensenyament de les ciències centrats en la indagació han anat guanyant presència a les aules i en els diferents documents i informes curriculars (Aguilera et al., 2018; Anderson, 2002; NRC, 2012; Romero-Ariza, 2017; Simarro et al., 2013).

Tot i l'ampli consens que existeix en considerar la competència en indagació com a essencial pel desenvolupament d'una població competent científicament (Abd-El-Khalick et al., 2004; Bybee, 2002; Driver et al., 1996; Ferrés-Gurt, 2017; Millar, 2006; OCDE, 2015), són nombroses les investigacions que subratllen l'existència d'una gran diversitat en les propostes d'indagació en aspectes relatius a la tipologia d'activitats que es proposen, l'autonomia atorgada a l'alumnat, el paper del docent, etc. (Romero-Ariza, 2017). Així, sota el paraigua de la indagació trobem, per exemple, propostes pobres i simplificades lligades a la idea de "mètode científic", però també propostes que ajuden a l'alumnat a superar aquesta visió estereotipada de la ciència i que són epistemològicament coherents amb les esferes de la ciència professional (Couso, 2014; Windschitl et al., 2008).

La gran polisèmia del terme indagació ha estat identificada, doncs, com un dels reptes principals d'aquest marc (Aguilera et al., 2018; Anderson, 2002; Pedaste et al., 2015; Simarro & Couso, 2018). En aquest sentit, la recerca de Barrow (2006) concreta la idea anterior diferenciant tres aspectes a què es fa referència quan es parla d'indagació. En primer lloc, identifica la indagació com a una destresa a aprendre per l'alumnat, és a dir, com un conjunt de destres i habilitats cognitives que l'alumnat ha de desenvolupar (p. ex. aprendre a formular preguntes investigables, dissenyar experiments per testejar les seves idees...)(Ferrés-Gurt, 2017b). En segon lloc, la indagació com a pràctica epistemològica, que es relaciona amb la naturalesa de la indagació i la necessitat que l'alumnat identifiqui la indagació com un dels mètodes privilegiats propis de la ciència que els científics/es professionals utilitzen per respondre les seves preguntes (Jiménez-Aleixandre, 2012; Kelly, 2008). Finalment, la indagació com enfocament d'ensenyament i aprenentatge, és a dir, com un conjunt de pràctiques i estratègies que els docents han de tenir en compte i dur a terme perquè l'alumnat aprengui "de" i "sobre" ciències (Couso, 2014).



En aquesta recerca utilitzem dos dels significats de Barrow ja que, de manera similar al que succeeix amb els models i la modelització, la indagació es considera alhora un contingut a aprendre i un enfocament d'ensenyament i aprenentatge que facilita aquest aprenentatge (NRC, 2012).

En relació a la indagació com a enfocament metodològic o d'ensenyament i aprenentatge de les ciències adoptem la perspectiva d'autors com Jiménez-Liso (2020), Romero-Ariza, (2017) i Windschitl et al. (2008) que defineixen la indagació com un procés que involucra a l'alumnat en el desenvolupament de destreses científiques (p.ex. el disseny de preguntes investigables, la recollida de dades...) per a la construcció de models conceptuals clau de manera epistemològicament coherent amb les maneres de fer, pensar, parlar i sentir de la ciència. En aquest sentit, i tal com expliquem amb més profunditat a l'apartat 2.1.3. d'aquest marc ([enllaç](#)), pel disseny de la SEA/DI d'aquesta tesi doctoral (secció 4 -[enllaç](#)- i article 1.1.-[enllaç](#)), la nostra proposta metodològica integra aspectes propis de la indagació i la modelització i, per tant, té en compte aspectes relacionats amb la indagació com a enfocament d'aprenentatge.

Concretament per a la planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament de la SEA/DI d'aquesta tesi doctoral s'ha tingut en compte, d'entre les diverses propostes de cicles o seqüenciacions de SEAs amb enfocament indagador proposades a la literatura (Pedaste et al., 2015), la proposta de cicle d'indagació de Jiménez-Liso, (2020) (Figura 3).

El cicle d'indagació esmentat (Jiménez-Liso, 2020) identifica sis pràctiques d'indagació en les que cal implicar a l'alumnat (part interior de la Figura 3). Igual que en el cicle de modelització (Couso, 2020) presentat anteriorment en aquest marc ([enllaç](#)), per a cadascuna de les pràctiques s'ha identificat una fase de la seqüència d'ensenyament i aprenentatge centrada en indagar (part exterior de la Figura 3). Així, per exemple per involucrar a l'alumnat en "donar prioritat a les proves" (fase 3 del cicle) el docent/dissenyador ha d'involucrar-lo en planificar, avaluar o desenvolupar un disseny per a l'obtenció de proves que pot ser tancat, estructurat, guiat o obert.

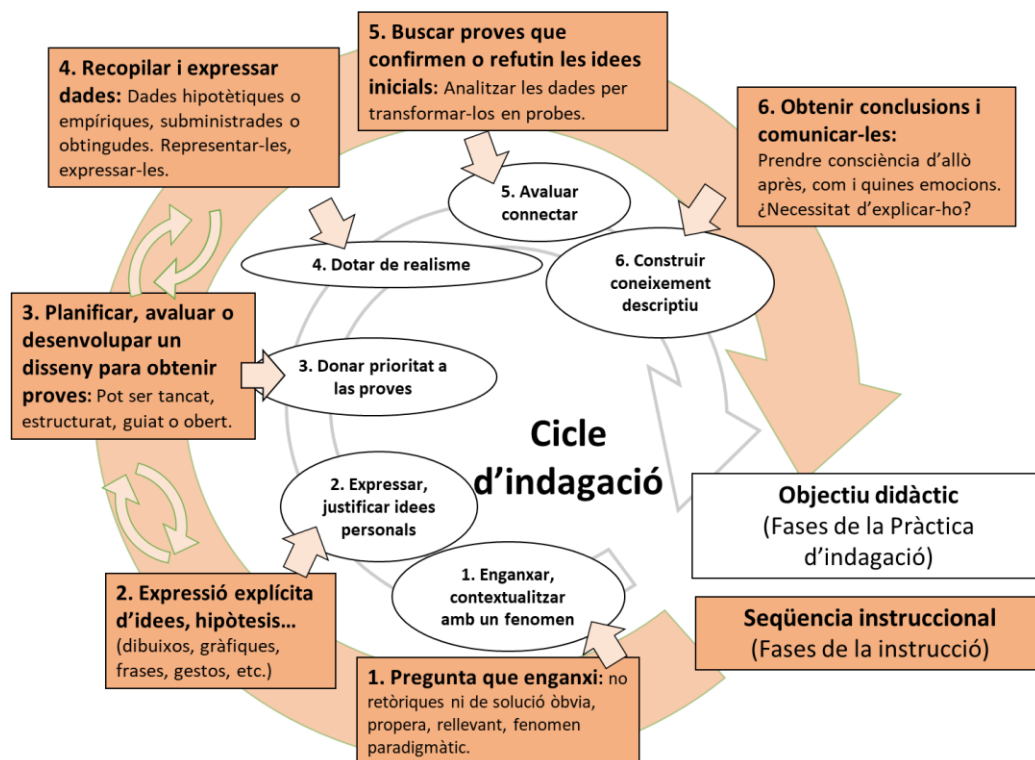


Figura 3. Cicle d'indagació proposat per Jiménez-Liso (2020). Traducció lliure.

Aquesta proposta ha demostrat ser útil tant pel disseny de SEAs per a l'etapa de primària (Castillo-Hernández et al., 2020; Jiménez-Liso et al., 2018), com per a l'anàlisi i avaluació de la indagació de l'alumnat a l'aula i la millora iterativa de SEAs proposades (Castillo-Hernández et al., 2022).

En relació a la indagació com a contingut a aprendre, en aquesta recerca aprofundim en la idea de la indagació com un conjunt d'habilitats, destreses i alhora coneixements concrets sobre la pràctica que l'alumnat ha d'anar desenvolupant al llarg de l'escolaritat (Jiménez-Aleixandre & Crujeiras, 2017). Aspectes en els que aprofundim al següent apartat d'aquest marc teòric (veure apartat 2.1.2.1. La indagació com a contingut d'aprenentatge, [enllaç](#)). Cal destacar que d'entre les destreses relacionades amb la indagació, en aquesta tesi doctoral s'aprofundeix especialment en la de dissenyar preguntes investigables amb alumnat del cicle superior de primària (veure article 3, [enllaç](#)).

### 2.1.2.1. La indagació com a contingut d'aprenentatge

L'anàlisi en els currículums espanyols i català de les idees associades a la competència procedimental de l'OCDE (2013) i el marc de la NRC (2012) realitzats per Ferrés-Gurt, (2017) i Jiménez-Aleixandre & Crujeiras (2017), identifiquen tres destreses a aprendre que guarden un gran lligam amb la pràctica d'indagació: la formulació de preguntes científiques, la planificació i realització d'investigacions i l'anàlisi i interpretació de dades.

En aquesta mateixa línia, i basant-se en el marc curricular dels EUA (NRC, 2012), Duschl & Bybee (2014) identifiquen que al final de l'escolaritat l'alumnat ha de ser capaç de: (1) formular preguntes investigables en el context de la classe, el laboratori escolar o amb recursos disponibles i, quan sigui apropiat, establir una hipòtesi (és a dir, possibles explicacions que prediguin el resultat d'una situació particular); (2) decidir quines dades és necessari recollir, quins instruments són necessaris per a aquesta recollida, i com es registraran les mesures que

es facin; (3) decidir quantes dades necessiten per a considerar una mesura rellevant i considerar les limitacions en la precisió de les dades; (4) planificar procediments experimentals o estudis de camp, identificant les variables independent i dependent, i quan sigui necessari les variables de control; i (5) considerar possibles variables de confusió o efectes i assegurar que el disseny de la investigació les ha controlat.

Estem d'acord amb els autors anteriors que per a la identificació, definició i anàlisi així com pel disseny de SEAs i el treball a l'aula és útil conèixer i diferenciar el conjunt d'operacions, destreses i habilitats concretes i les característiques pròpies de cadascuna de les pràctiques científiques (p.ex. les preguntes investigables per la indagació). No obstant això, és important destacar que el desenvolupament de cadascuna de les destreses i subdestreses associades a les pràctiques científiques, usualment a l'aula es dona de manera solapada amb la resta d'habilitats i pràctiques (Bell et al., 2012; Crujeiras-Pérez & Cambreiro, 2018; NRC, 2012). En aquest sentit, per exemple, la formulació de preguntes investigables no és independent del model que es vol construir; de la mateixa manera, que la planificació i realització d'investigacions implica necessàriament la construcció d'arguments basant-se en proves... (Gil-Pérez & Martínez-Torregrosa, 1987; Millar & Driver, 1987; Ogborn, 2012).

Les diverses recerques que han posat el focus en les diferents destreses i subdestreses anteriors han identificat que el seu desenvolupament no és quelcom trivial i que l'alumnat fins i tot en etapes d'escolaritat postobligatòries presenta dificultats (Ferrés-Gurt et al., 2015). En el cas del disseny de preguntes investigables, per exemple, les recerques posen de manifest que l'alumnat sovint confon aquestes amb preguntes d'informació (Domènech-Casal, 2014; Ferrés-Gurt, 2017b; Kelsey & Steel, 2001). En el cas de la planificació i realització d'investigacions, diverses recerques apunten que l'alumnat sovint proposa recollir dades sobre aspectes que li són familiars, però que no són adequats per a respondre a la pregunta plantejada (Domènech-Casal, 2019; Kanari & Millar, 2004; Krajcik et al., 1998) o que els dissenys experimentals sovint no inclouen de manera explícita les variables implicades (Brownell et al., 2014; D'Costa & Schlueter, 2013; Ferrés-Gurt, 2017b; Kuhn & Dean, 2005; Sanmartí & Márquez, 2012) i les variables a controlar (Chen & Klahr, 1999; Crujeiras, 2014). En el cas de l'anàlisi i interpretació de les dades, sovint l'alumnat no interpreta els resultats obtinguts en funció de les variables experimentals detectades sinó que fa servir les seves idees prèvies, les opinions pròpies... (Grunwald & Hartman, 2010; Kuhn & Dean, 2005; Oliveras et al., 2013).

Superar aquestes dificultats implica involucrar activament des de les etapes inicials a l'alumnat en investigacions i activitats autèntiques i genuïnes anàlogues a les de la ciència professional dissenyades curosament pels docents amb aquest propòsit (Crujeiras-Pérez & Cambreiro, 2018; Duschl & Bybee, 2014; Jiménez-Liso et al., 2020). En aquest sentit, les recerques han mostrat que les indagacions tancades on el docent té un paper destacat presenten uns resultats més positius que aquelles totalment obertes (Couso, 2014; Furtak et al., 2012; Romero-Ariza, 2017). Tot i això, és important que l'alumnat es vagi enfrontant progressivament a indagacions cada vegada més obertes, ja que és en aquest context genuí on realment es posen a prova les destreses i disposicions pròpies de la ciència escolar (Ogborn, 2012).

Lluny dels plantejaments que atorguen un paper secundari als docents, considerem essencial que, fins i tot en les indagacions obertes els docents proporcionin guies o bastides que ajudin a l'alumnat al llarg del procés perquè aquest pugui enfrontar-se amb èxit a tasques d'indagació i desenvolupi progressivament les destreses relacionades (Chen et al., 2015; Puntambekar & Kolodner, 2005; Romero-Ariza, 2017). En aquest sentit, estem d'acord amb Castillo-Hernández et al. (2020) quan afirmen que autonomia no significa soledat.

### 2.1.3. LA INDAGACIÓ BASADA EN LA MODELITZACIÓ COM UN ENFOCAMENT DIDÀCTIC CONCRET PEL TREBALL DE LES PRÀCTIQUES CIENTÍFIQUES A L'AULA

---

Tot i que cadascuna de les pràctiques científiques esmentades (la modelització, la indagació i l'argumentació) requereix l'ús d'unes destreses i habilitats específiques (Crujeiras-Pérez & Cambreiro, 2018; Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2012) estem d'acord amb aquells autors que posen de manifest que tant a la ciència professional com a la ciència escolar aquestes pràctiques sovint es troben interconnectades i es donen de manera superposada (Bell et al., 2012; Couso, 2014; Jiménez-Liso et al., 2021; Monteiro & Jiménez-Aleixandre, 2016; NRC, 2012). Un exemple d'això és que tot i que la indagació sovint es relaciona amb pràctiques tals com planificar i posar a prova investigacions, diversos autors han posat de manifest que totes aquestes habilitats no són independents de les idees sobre les quals s'indaga per generar coneixement (Gil-Pérez & Martínez-Torregrosa, 1987; Millar & Driver, 1987).

Aquest fet ha provocat un augment de l'interès per analitzar situacions on es troben involucrades més d'una pràctica científica. Exemples d'això són la proposta d'Evagorou et al. (2020) focalitzada en les pràctiques de modelització i argumentació o la proposta d'indagació orientada a argumentar (Argument-Driven Inquiry o ADI) de Zembal-Saul (2009).

Un altre d'aquests enfocaments és el de la indagació basada en la modelització (IBM per les sigles en castellà/català o MBI per les seves sigles en anglès). Aquest enfocament busca superar algunes de les problemàtiques identificades en els marcs de la indagació i la modelització com: la manca de definició i concreció d'ambdues esferes, la manca d'exemples d'aula que tinguin un enfocament didàctic modelitzador i/o indagadors, o la manca de relacions entre les indagacions i el contingut científic que busquen desenvolupar (Campbell et al., 2010; Couso, 2014; Jiménez-Liso et al., 2020; Settlage, 2007). En aquesta mateixa línia, diversos autors han apuntat que el marc MBI pot ajudar a superar algunes propostes reduccionistes i epistemològicament poc coherents amb les de la ciència professional. Per exemple, les indagacions que presenten un mètode científic icònic o les modelitzacions que únicament mostren a l'alumnat els models ja construïts, però sense involucrar-los en el procés de construcció (Couso, 2014; Hernández et al., 2015; Jiménez-Liso, 2020; Jiménez-Liso et al., 2020; Schwarz & White, 2005; Windschitl et al., 2008).

Des de la indagació basada en la modelització com a enfocament didàctic, doncs, el treball a l'aula de ciències ha de fomentar l'exploració de fenòmens reals que permetin a l'alumet la construcció i reconstrucció dels propis models mentals a la llum de les proves obtingudes o subministrades (Campbell et al., 2010; Schwarz et al., 2009). És a dir, establint una connexió constant entre el món dels observables (p.ex. fets...) i el món de les idees (p.ex. teories, explicacions científiques...) (Simarro et al., 2013).

Tot això implica, d'una banda, dotar de significat conceptual les propostes d'indagació a partir de la identificació i selecció de les idees, models o teories clau que es volen construir amb l'alumnat (Izquierdo, 2005). I, d'altra banda, proposar pràctiques genuïnes i autèntiques a l'alumnat que permetin a aquest construir una visió epistemològicament coherent de com la ciència professional construeix i valida el coneixement (Jiménez-Aleixandre, 2010; Jiménez-Liso et al., 2020).

Tot i les potencialitats presentades, estem d'acord que dissenyar i dur a l'aula propostes que ajudin a l'alumnat a construir alhora idees "de" i "sobre" ciències epistemològicament coherents

amb la manera de fer de la ciència professional no és en absolut trivial (Ferrés-Gurt, 2017b). A més a més, existeixen pocs marcs i estructures que ajudin i guiïn als docents en el procés d'involucrar al seu alumnat en aquest tipus d'enfocament didàctic (Papaevripidou et al., 2014).

## 2.2. EL DISSENY DE SEQÜÈNCIES D'ENSENYAMENT I APRENTATGE I LA SEVA RECERCA

Existeix un cert consens en considerar les seqüències d'ensenyament i aprenentatge (SEA) una eina de planificació bàsica pel professorat de les situacions d'ensenyament i aprenentatge on s'aprofundeix en què ensenyar i com fer-ho (Couso, 2011; Couso & Adúriz-Bravo, 2016; Méheut & Psillos, 2004). En aquestes s'especifica quins continguts, quins contextos, amb quins objectius, en quin ordre i de quina manera es duen a terme i avaluen les activitats que es realitzen per a l'ensenyament i aprenentatge de la temàtica i continguts específics que es volen treballar (Guisasola et al., 2021). Tots els aspectes anteriors es concreten en forma de materials i recursos docents i documents de treball, fitxes o altres recursos per a l'alumnat.

En l'àmbit de la didàctica de les ciències, existeix un interès creixent per les SEAs no només com a producte bàsic de la planificació del professorat, sinó com a objecte d'investigació (Couso, 2011; Guisasola & Oliva, 2020; Méheut & Psillos, 2004).

Tal com hem argumentat a l'article 0 ([enllaç](#)), en aquesta tesi doctoral entenem les SEAs des d'una perspectiva ampla que inclou també altres tipus de dissenys instruccionals (DI) com per exemple les propostes de projectes d'aula de tipus ABP (Domènech-Casal, 2018; Pérez-Torres, 2022). En aquests dissenys instruccionals, tot i que en moltes ocasions els seus autors no els identifiquen als treballs directament com a SEAs, el seu disseny i implementació implica una presa de decisions i una explicitació sobre el què i el com treballar un contingut a l'aula similars als esperats per a les SEA de format més tradicional. És per aquest motiu que d'ara endavant en aquest treball farem servir les sigles SEA/DI per fer referència a aquest tipus de planificació docent amb potencial per ser investigada.

Tal com hem destacat en seccions anteriors, existeixen múltiples estudis empírics sobre les concepcions que tenen els estudiants sobre diferents fenòmens i conceptes científics entre els quals destaca, el treball de Driver et al. (1994) o la diversitat de recerques recollides al repositori de Pfund i Duit (2001). Malgrat que des de fa anys existeixen aquestes contribucions i d'altres que apunten com haurien de ser les classes de ciències i què hauria de passar en elles, la realitat és que els canvis i innovacions observats en les aules han estat mínims en la majoria de països. Tal com apunta Constantinou (2010) una de les possibles causes que explica aquesta manca de canvi podria ser que la majoria de docents reproduïen l'ensenyament i aprenentatge que ells han rebut i fonamenten les seves classes en llibres de text, manuals de laboratori i exercicis pràctics enfocats a l'aprenentatge memorístic i ignoren importants resultats de recerca.

Són nombroses les recerques que en els últims anys s'han preocupat per la creixent "escletxa" educativa (coneguda com "*brecha*" en castellà o "*gap*" en anglès) entre els resultats de recerca en didàctica de les ciències i el que succeeix en el dia a dia de les aules de ciència (Biesta, 2007; Blanco et al., 2018; Broekkamp & Van Hout-Wolters, 2007; McIntyre, 2005; Zembal-Saul, 2017).

En didàctica de les ciències des dels anys 80, i amb un clar interès per disminuir l'escletxa entre la investigació i el que succeeix cada dia a l'aula, ha augmentat l'interès pel disseny i avaluació de les SEA/DI que s'entenen com un element que permet connectar la teoria i recerca didàctica amb la pràctica a l'aula (Guisasola et al., 2021). Aquesta tendència es va veure reforçada als anys

90 gràcies a la recerca sobre el desenvolupament liderada per Lijnse (1995). En aquest marc no només es para atenció als resultats d'aprenentatge de l'alumnat després de participar en una SEA/DI concreta, sinó que posa especial focus en la identificació de les "bones pràctiques" docents tant en el procés de disseny com d'implementació de les SEA/DI.

En aquesta línia, han emergit diverses propostes de marcs pel desenvolupament d'estructures didàctiques guia que busquen reduir la incertesa en la presa de decisions vinculada al disseny de SEA/DI i alhora permetre l'avaluació de les intervencions educatives (Jan van den Akker, 1999). Algunes de les propostes més rellevants en l'àmbit de la didàctica de les ciències han estat: els programes-guia (Gil Pérez & Martínez-Torregrosa, 1987), l'enginyeria didàctica (Artigue, 1988), les SEA dominades per "tutorials" (Mcdermott, 1990), el treball a partir de "*learning hypothesis*" (Buty et al., 2004), les estructures didàctiques (Lijnse & Klaassen, 2004), les "*lesson study*" (Fernandez & Yoshida, 2004); el model de reconstrucció educativa (Duit, 2007), la noció de "*learning demand*" i els "*design brief*" (Ametller et al., 2007; Leach & Scott, 2008).

Tot i les particularitats pròpies de cadascuna de les propostes, existeixen certs aspectes comuns entre elles. Per exemple, que totes es basen en una perspectiva constructivista de l'aprenentatge, que donen importància a l'anàlisi epistemològica del contingut curricular per a la definició dels objectius d'aprenentatge, que identifiquen les idees alternatives de l'alumnat com un aspecte clau a tenir en compte en el disseny, que basen el disseny d'activitats en els resultats d'investigació o que presenten evidències d'aprenentatge de l'alumnat. A més a més, totes aquestes propostes apunten alguns aspectes que posteriorment han esdevingut característics del paradigma IBD com, per exemple, el caràcter intervencionista o la iteració dels dissenys (Guisasola et al., 2021).

### 2.2.1. LA RECERCA BASADA EN EL DISSENY

---

En els últims anys, la proposta del marc d'investigació basada en el disseny (IBD per les seves sigles en català/castellà i DBR per les seves sigles en anglès<sup>1</sup>) ha buscat aprofundir encara més en la connexió entre les teories educatives i els dissenys de SEA/DI. En aquest marc el focus no està tant a identificar quines són les teories o estratègies "que funcionen" sinó en la definició/estructuració de com ha de ser el mateix procés de disseny, implementació i validació de SEAs/DI i el desenvolupament de teories d'intervenció a l'aula (DBR Collective, 2003; Gravemeijer & van Eerde, 2009).

En aquest sentit, el marc IBD es caracteritza perquè, d'una banda, busca dissenyar SEA/DI útils per a la seva implementació a les aules, ben investigades que atorguen un paper destacat al context d'implementació; i, d'altra banda, busca desenvolupar i/o validar teories "humils" (Cobb et al., 2003), proto-teories (DBR Collective, 2003) o teories locals (van den Akker et al., 2006) d'acord amb els resultats identificats i a la seva comparació amb els principis i teories de disseny en què es basa (Gravemeijer & Gravemeijer, 2004; Guisasola et al., 2021; Méheut & Psillos, 2004; Plomp & Nieveen, 2013; Psillos & Kariotoglou, 2016; van den Akker, 1999).

---

<sup>1</sup> En aquest document s'han utilitzat els acrònims IBD i DBR en funció de la llengua d'escriptura utilitzada en cada moment. No obstant això, tots dos fan referència al paradigma d'Investigació Basada en el Disseny.

És precisament aquest caràcter dual del paradigma IBD el que també diferencia aquesta proposta d'altres propostes com la investigació-acció o els estudis de validació de teories (Gravemeijer & Cobb, 2013; Ortiz-Revilla, 2020; Romero-Ariza, 2014).

Dins del marc IBD actualment existeix un cert consens en identificar tres com les fases principals d'un procés de disseny (Blessing & Chakrabarti, 2009; Cobo-Huesa et al., 2021; Plomp & Nieveen, 2013; van den Akker, 1999). Una primera fase anomenada recerca preliminar en què es concreten els principis i eines de disseny a partir de l'anàlisi de la literatura sobre l'àmbit i el context d'implementació. Una segona fase anomenada desenvolupament i pilotatge on a través de diversos cicles iteratius de disseny, implementació i avaluació parcial es va redissenyant la SEA/DI. I una tercera i última fase anomenada anàlisi retrospectiva que profunditza en l'avaluació de la SEA/DI per tal de conèixer fins a quin punt aquesta permet abordar la problemàtica educativa per la què havia estat dissenyada i alhora, per conèixer fins a quin punt els resultats d'aprenentatge aporten a la construcció i/o validació de les idees sobre principis i teories educatives en els que es basa.

Tot i que, la literatura en IBD ha anomenat a la primera de les fases "recerca preliminar", en aquesta tesi hem optat, per fer referència al procés d'identificació dels principis i eines de disseny de la SEA/DI, per anomenar-la "fonamentació inicial". Aquest canvi de nom busca remarcar la diferència existent entre les "investigacions o dissenys d'aula" basades en recerca i les "investigacions basades en el disseny".

D'acord amb el que apunten Guisasola et al (2021) tot i que de vegades els dos termes anteriors s'utilitzen com a sinònims és important distingir quan parlem només de dissenys de SEAs/DI innovadores que es basen o no en aspectes que la literatura en didàctica ha destacat; i quan, a més a més, busquem que el procés de disseny, implementació i avaluació de les SEA/DI aportí empíricament a la construcció i/o validació de principis i eines de disseny de manera fonamentada. Així, el que diferencia ambdues propostes no són les característiques pròpies de cadascun dels enfocaments o les diferents fases del disseny sinó les finalitats que persegueixen i, consegüentment, com es duu a terme el procés de disseny, implementació i avaluació de les diferents SEA/DI (p. ex. amb quin grau de rigor es fa el procés de fonamentació inicial i l'anàlisi del context; l'existència o no de preguntes investigables que guien el procés i que busquen ser contestades a partir de les evidències obtingudes; com de controlades i documentades són les iteracions que es donen en el disseny; quina importància que s'atorga a les modificacions i en què es basen aquestes, etc. A la Taula 1 (inspirada en Guisasola et al. 2021), aprofundim en la comparació entre ambdós enfocaments amb la finalitat de poder caracteritzar-los i diferenciar-los.

**Taula 1.** Comparació de les característiques dels dissenys basats en recerca i la investigació basada en recerca inspirat en Guisasola et al. (2021)

		Disseny basats en recerca	Investigació basada en el disseny
<b>Finalitat que persegueix</b>		La finalitat principal és el disseny d'una SEA/DI fonamentada en principis de disseny consensuats, empíricament adaptada al raonament dels estudiants i útil per a la seva implementació a l'aula.	Té una doble finalitat, d'una banda, el disseny d'una SEA/DI ben investigada, fonamentada en principis de disseny, empíricament adaptada al raonament dels estudiants i útil per a la seva implementació a l'aula; i, d'altra banda, la contribució a la construcció i/o validació de teories humils, principis i/o eines que suporten el disseny d'aquesta i altres SEAs/DI a partir dels resultats obtinguts.
<b>Característiques</b>	<b>Rellevància atorgada al context</b>	El context d'implementació és una variable més que es té en compte en el disseny de la recerca. La seva definició i caracterització però, sovint no és detallada i exhaustiva.	L'anàlisi del context d'implementació (p. ex. identificació de les idees alternatives de l'alumnat, característiques de l'escola...) és un aspecte clau a les diverses fases del procés. La seva definició i caracterització és detallada i exhaustiva ja que té rellevància per la seva influència en la definició del prototip inicial, en com es fan les implementacions i també en la construcció i/o validació dels principis i eines de disseny que s'elaboren a partir dels resultats obtinguts.
	<b>Proximitat a la pràctica</b>	Els dissenys tenen interès pel desenvolupament de recursos, eines didàctiques i/o productes alineats amb les necessitats i circumstàncies reals de docents i alumnat. Així, les SEA/DI actuen sobre el món educatiu partint d'un disseny innovador que té com a objectiu solucionar i/o millorar algun aspecte de la pràctica educativa.	Els dissenys tenen interès pel desenvolupament de recursos, eines didàctiques i/o productes alineats amb les necessitats i reals de docents i alumnat. Actuen sobre el món educatiu partint d'un disseny innovador que té com a objectiu solucionar i/o millorar algun aspecte de la pràctica educativa, però a més a més, el seu potencial efecte en la pràctica educativa és elevat i implica un cert control del context i la situació/condicions de l'aula en la que es durà a terme la recerca. De manera que es pugui obtenir certa informació del context per poder interpretar les dades. A més a més, la implementació de les SEA/DI implica un procés de negociació de significats entre dissenyadors, docents i alumnat.
	<b>Orientació a la teoria</b>	Fonamentada en resultats de recerca i innovació. Especialment en l'anàlisi de recursos educatius i articles d'innovació científica. Tot i que es basa en teories i principis d'aprenentatge i en algunes ocasions s'utilitzen eines de	Explícitament fonamentada en resultats de recerca validats per la comunitat científica (teories generals i específiques, evidències empíriques de diferents dissenys...). L'anàlisi en profunditat de certes



	<p>disseny, ni aquests, ni la relació entre aquests i el propi material didàctic (p.ex. activitats...) s'expliciten en la majoria dels casos.</p> <p>Els resultats no busquen fer una contribució directa a les teories, principis i eines de disseny de la SEA/DI tot i que poden apuntar aspectes en aquesta direcció.</p>	<p>SEA/DI que han demostrat qualitat també tenen un paper destacat en el procés.</p> <p>S'identifiquen i expliciten clarament tant els principis i eines del disseny que guien el disseny com la connexió entre aquests i el disseny (p.ex. activitats...).</p> <p>Els resultats obtinguts de la implementació iterativa de la SEA/DI busquen fer aportacions a la validació i/o construcció de les teories, principis i eines de disseny en què es basa la SEA/DI.</p>
<b>Naturalesa iterativa</b>	<p>En la majoria dels casos es proposa un procés cíclic de disseny, avaluació i redisseny.</p> <p>La implementació i iteració no és sistemàtica i sovint no es pot considerar un procés de recerca, ja que la presa de decisions i les modificacions que es proposen es basen sobre tot en les percepcions que alumnat i/o docents tenen de la pròpia experiència i/o una anàlisi incipient del resultat d'aprenentatge. Aquestes tenen un baix grau de formalisme, són poc explícits i no busquen aportar a la teoria sobre el procés de disseny de les SEA/DI. Els canvis no sempre s'expliciten i justifiquen.</p>	<p>Es proposa un procés cíclic de disseny, avaluació i redisseny. La revisió de la SEA/DI i les modificacions que es proposen són conseqüència d'una anàlisi de la qualitat de la SEA/DI d'acord amb les proves o dels resultats obtinguts producte de la seva implementació. Tenen un cert grau de formalisme, s'expliciten amb detall i tenen una profunditat creixent en cadascuna de les iteracions.</p> <p>L'anàlisi dels canvis realitzats entre les diverses iteracions són una de les característiques principals d'aquest tipus d'intervencions. Aquests no només són considerats importants per a l'anàlisi de la qualitat de la proposta sinó que, a més a més, es presta especial atenció a la comprensió del procés i als aspectes per a la millora de les intervencions buscant fer aportacions a la teoria, per exemple, validant i/o matisant els principis de disseny en els que es basa la SEA/DI.</p>
<b>Participació de diferents agents en el disseny</b>	<p>No necessàriament impliquen la col·laboració entre diferents agents educatius.</p>	<p>Impliquen la col·laboració entre diferents agents educatius (docents, dissenyadors, investigadors...) amb diferents rols i graus d'implicació. La participació dels diferents agents busca garantir que s'assoleixen uns determinats objectius a la pràctica.</p>



### 2.2.2. L'AVALUACIÓ DE LA QUALITAT DE LES SEQÜÈNCIES D'ENSENYAMENT I APRENTATGE DES DE LA PERSPECTIVA IBD

---

Tal com s'ha anat apuntant anteriorment, l'avaluació de la qualitat de les SEA/DI en el paradigma IBD adquireix una importància destacada tant per a la millora iterativa dels diferents dissenys (identificació de les propostes de millora, suggeriments de canvis...) com per a la aportació construcció i/o validació dels principis i eines de disseny.

A l'article 0. "¿Cómo sé que mi secuencia didáctica es de calidad? Propuesta de un marco de evaluación desde la perspectiva de la Investigación Basada en el Diseño" actualment acceptat i en premsa a la Revista Eureka: sobre la enseñanza y divulgación de las ciencias, aprofundim en la importància de l'avaluació de la qualitat en el paradigma IBD a partir de la identificació i definició de dimensions de qualitat i criteris d'avaluació. A més a més, en aquesta recerca també s'apunten algunes de les limitacions identificades en aquest procés (p. ex. la manca de consens sobre què significa qualitat) i es revisen algunes de les propostes existents per a l'avaluació de la qualitat de les SEA/DI en diferents paradigmes de disseny. Aquest revisió ens ha permès proposar i definir un nou marc teòric i metodològic operatiu per a l'avaluació de la qualitat de les SEA/DI basat en el grau d'exigència de les proves o resultats producte de la seva implementació tenint en compte les característiques pròpies del paradigma IBD.

La proposta de marc que fem a continuació, ha esdevingut la base per a la planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/ refinament iteratiu d'aquesta tesi doctoral, tal com expliquem de manera aprofundida a les seccions 4 ([enllaç](#)) i 5 ([enllaç](#)) d'aquest document.



48 paradigma, las investigaciones didácticas giran en torno al diseño y/o validación de SEAs para apoyar  
 49 el aprendizaje del alumnado y a la vez desarrollar teorías sobre la enseñanza y aprendizaje de un tema  
 50 específico (Guisasola y Oliva, 2020).

51 A pesar de que no existe una definición totalmente consensuada de SEA, existe un cierto acuerdo en  
 52 entenderla como la herramienta principal del profesorado para planificar el proceso de enseñanza y  
 53 aprendizaje de un tema o contenido específico. Tal como expone Autores (2011) las SEAs concretan  
 54 tanto la visión de la enseñanza y aprendizaje (por qué y para qué aprender), como el trabajo que se  
 55 llevará a cabo en el aula (qué se enseña y cómo se hace). Por ello, una SEA debe incluir: los objetivos  
 56 que se persiguen; los materiales, recursos y herramientas didácticas que utilizan los docentes (vídeos,  
 57 prácticas de laboratorio...); y las actividades que realiza el alumnado (fichas, lecturas, guiones de  
 58 indagación...). En este trabajo entendemos las SEAs desde una perspectiva amplia, que incluye otros  
 59 Diseños Instruccionales (DI) complejos como, por ejemplo, los proyectos ABP (Domènech-Casal,  
 60 2018) (de aquí en adelante SEA/DI).

61 Dentro del paradigma IBD una de las fases más importantes del proceso de diseño de las SEAs/DI es  
 62 la evaluación, ya que esta es clave para la mejora de la calidad de los diseños didácticos, y para el  
 63 aporte a los principios de diseño que la investigación de la SEA propicie (DBR Collective 2003). Pese  
 64 a ello, la evaluación de la calidad ha recibido muy poca atención (Guisasola et al., 2017; Hernández  
 65 Rodríguez, 2018; Nieveen y Folmer, 2013). De hecho, aunque en algunos artículos encontramos  
 66 afirmaciones sobre la eficacia o la validez de las SEAs/DI, estos no suelen incluir una descripción  
 67 detallada ni sobre cómo se ha evaluado (grado de iteración, agentes que evalúan, tipos de pruebas  
 68 usados) ni respecto a qué se ha evaluado (con qué criterios de realización y de calidad), ni sobre la  
 69 conexión entre los resultados de la evaluación y los cambios en la teoría y en el diseño (Guisasola et  
 70 al., 2017; Guisasola y Oliva, 2020). Además, el concepto de calidad es altamente polisémico y, en  
 71 consecuencia, no en todas las investigaciones se entiende de la misma manera (van den Akker, 1999,  
 72 2013).

73 Teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente el objetivo de este artículo es hacer una revisión  
 74 de algunas de las propuestas usadas desde diferentes paradigmas del diseño para la evaluación de la  
 75 calidad de las SEAs/DI cuando se implementan y se obtienen resultados. Para ello se revisan los  
 76 elementos y prácticas clave, así como los criterios de realización y calidad de las propuestas a la luz  
 77 del paradigma IBD. Partiendo de este análisis se propone y define un nuevo marco operativo para la  
 78 evaluación de la calidad de los diseños de SEAs/DI desde el paradigma IBD basado en el grado de  
 79 exigencia de las pruebas o resultados producto de la implementación de la SEA/DI.

## 80 **El paradigma IBD**

81 De acuerdo con DBR Collective (2003, p.5) la investigación basada en diseño (IBD) es “un paradigma  
 82 emergente que estudia el aprendizaje en contexto a través del diseño sistemático y el estudio de  
 83 estrategias didácticas y herramientas educativas”. Diversos autores destacan que la principal  
 84 diferencia de este paradigma respecto a propuestas anteriores, como la investigación acción o los  
 85 estudios evaluativos, es su doble objetivo. Así, las investigaciones IBD, por un lado, persiguen diseñar  
 86 SEAs/DI bien fundamentadas, empíricamente adaptadas para favorecer la obtención de los resultados  
 87 de aprendizaje esperados y útiles para su implementación en el aula; y, por otro lado, ampliar y validar  
 88 aspectos relacionados con las teorías educativas y principios didácticos en los que se basan (Guisasola  
 89 et al., 2021; Méheut y Psillos, 2004; Plomp y Nieveen, 2013; Psillos y Kariotoglou, 2016; Romero-  
 90 Ariza, 2014; van den Akker, 1999).

91 Además del énfasis en la comprensión de los procesos y de la orientación hacia el desarrollo de  
 92 teorías, el paradigma IBD también se caracteriza por su orientación práctica, su carácter  
 93 intervencionista y su carácter iterativo. La orientación hacia la práctica se relaciona con el interés por  
 94 el desarrollo de recursos, herramientas didácticas y/o productos que se alineen con las necesidades y  
 95 circunstancias reales de docentes y alumnado (Romero-Ariza, 2014). El carácter intervencionista se  
 96 relaciona con la apuesta por la colaboración entre diferentes participantes en las investigaciones (p.ej.



97 docentes, diseñadores, investigadores...) (Autores, año; Wang y Hannafi, 2005). Por último, el  
98 carácter iterativo hace referencia a un proceso recurrente de diseño, implementación, evaluación y  
99 rediseño de los aportes teóricos, materiales didácticos y herramientas resultantes de una IBD (Plomp  
100 y Nieveen, 2013).

101 Teniendo en cuentas estas características, diversos autores han intentado identificar y definir las fases  
102 que deben guiar un proceso de diseño e implementación basado en investigación (DBR Collective,  
103 2003). Actualmente existe un consenso generalizado en que cualquier proceso IBD debe seguir tres  
104 grandes fases que reciben diferentes nombres en la literatura: la fundamentación inicial, el desarrollo  
105 y pilotaje de la SEA y el análisis retrospectivo o evaluación (Blessing y Chakrabarti, 2009; Cobo-  
106 Huesa et al., 2021; Plomp y Nieveen, 2013; van den Akker, 1999).

107 El objetivo principal de la primera fase (fundamentación inicial) es definir el problema educativo que  
108 se busca mejorar e identificar los fundamentos teóricos que guiarán la IBD concretándolos en unos  
109 principios de diseño iniciales que orientarán el diseño de la SEA/DI (Romero-Ariza, 2014). De  
110 acuerdo con Plomp (2013), para identificar y definir los fundamentos teóricos que guiarán la  
111 propuesta se debe no sólo hacer una revisión de la literatura sobre la temática de la SEA/DI (p.ej.  
112 estudio de las dificultades de aprendizaje, análisis epistemológico del contenido a enseñar...), sino  
113 también un análisis del contexto educativo en el que se va a llevar a cabo (p.ej. nivel educativo,  
114 conocimientos previos...) identificando aquellos aspectos que limitarán el alcance de la SEA/DI.  
115 Estas teorías se deben concretar y operativizar hasta llegar a la definición de unos principios de diseño  
116 o su concreción en unas herramientas de diseño a partir de los cuales elaborar una primera SEA/DI  
117 tentativa (o prototipo inicial). Este se irá refinado iterativamente en las posteriores fases del proceso  
118 (Cobo-Huesa et al., 2021).

119 En la segunda fase (desarrollo y pilotaje) se llevan a cabo diversos ciclos sucesivos de diseño,  
120 implementación, revisión y mejora del prototipo inicial de la SEA/DI. De acuerdo con la propuesta  
121 de Romero-Ariza (2014), cada uno de estos ciclos sucesivos debe conllevar un pequeño ciclo de  
122 investigación. Es decir, una investigación donde se concretan/ revisan tanto los principios de diseño  
123 como el desarrollo y pilotaje de la SEA/DI a partir de un análisis de los resultados concretos de cada  
124 iteración. Este proceso debe tener como objetivo analizar las SEAs/DI para poder tomar decisiones  
125 sobre los cambios o modificaciones necesarios para su mejora (Guisasola et al., 2021). Gracias a cada  
126 uno de los ciclos iterativos y sus pequeñas investigaciones asociadas se van construyendo y refinando  
127 aspectos relativos a las teorías y aspectos prácticos de la SEA/DI (objetivos, actividades...) (Plomp,  
128 2013).

129 En la última fase (evaluación o análisis retrospectivo) se lleva a cabo un análisis más profundo,  
130 sistemático y global del proceso de diseño e implementación a partir de los datos recogidos a lo largo  
131 de las diferentes iteraciones. Este análisis debe permitir, por un lado, valorar hasta qué punto la  
132 propuesta, herramientas didácticas, principios y/o herramientas del diseño finales satisfacen el  
133 propósito para el que se habían planteado; y, por otro lado, analizar la evolución del diseño de la  
134 SEA/DI a lo largo de los diferentes ciclos. Además, la obtención de resultados empíricamente  
135 fundamentados del diseño y la mejora iterativa de la SEA/DI así como del aprendizaje derivado de  
136 su aplicación debe permitir construir y/o validar aspectos de las teorías educativas y de los principios  
137 de diseño en los que se basa la SEA/DI, yendo más allá de la propia experiencia concreta (Gravemeijer  
138 y Cobb, 2013).

139 Estas teorías y principios de diseño que fundamentan y a la vez son objeto de investigación en las  
140 propuestas IBD deben ser consideradas teorías “humildes” (DiSessa, 2006), proto-teorías (DBR  
141 Collective, 2003) o teorías locales (van den Akker et al., 2006), empíricamente fundamentadas sobre  
142 cómo y porque se cree que un conjunto de propuestas educativas funciona para la enseñanza y  
143 aprendizaje de un contenido específico en un contexto concreto (Gravemeijer, 2004). El carácter  
144 “humilde” de estas teorías, por contraposición con las grandes teorías educativas (por ejemplo, el  
145 socio-constructivismo), no las exime de ser compartidas, comparadas, útiles y con potencial de

146 orientar propuestas en otros contextos y/o temáticas (Cobb et al., 2003; Autores, año; DBR Collective,  
147 2003).

148 Teniendo en cuenta todo lo anterior, vemos que la propuesta IBD difiere de ideas comunes en  
149 evaluación educativa a gran escala (Hernández-Torrano y Courtney, 2021), al no haber exigencia de  
150 transferibilidad ni expectativas de generalización estadística de los resultados. A pesar de la  
151 importancia que tienen estos tipos de evaluación, estamos de acuerdo con diversos autores que en las  
152 investigaciones IBD adquiere una especial relevancia las evaluaciones de “grano fino” ligadas a la  
153 calidad interna de las SEA/DI en un contexto concreto de planificación, implementación y obtención  
154 de resultados (Guisasola et al., 2021; Plomp, 2013; Psillos y Kariotoglou, 2016).

### 155 **La evaluación de la calidad las SEAs/DI en el marco IBD**

156 La evaluación en el paradigma IBD es entendida como “una actividad sistemática (que incluye el  
157 diseño, la recogida de datos, el análisis de los datos y la elaboración de informes/ toma de decisiones)  
158 con el objetivo de mejorar la calidad de un prototipo de intervención y los principios de diseño que  
159 lo acompañan” (Nieveen y Folmer, 2013, p. 158). Por ello, la evaluación desde este paradigma no  
160 solo se centra en señalar los aspectos de las SEAs/DI a mejorar, sino que se enfoca especialmente en  
161 sugerir propuestas y cambios para ello (van den Akker, 1999).

162 De acuerdo con Bakker y van Eerde (2015), y tal como hemos apuntado anteriormente, en las  
163 propuestas IBD existen dos momentos con potencial para la evaluación interna de las SEAs/DI: el  
164 análisis de cada iteración y el análisis global de todo el proceso. El análisis de cada iteración conduce  
165 a la toma de decisiones con respecto a los futuros prototipos e intervenciones a partir de los datos  
166 recogidos durante esa iteración. El análisis global, por su parte, se da al final de todo el proceso de  
167 investigación al profundizar en la evaluación de los datos recogidos a lo largo de las diferentes  
168 iteraciones. Para ello se tiene en cuenta el análisis de todos los resultados de aprendizaje y la evolución  
169 de los diferentes prototipos del diseño realizado. De acuerdo con Nieveen y Folmer (2013) y  
170 Guisasola et al. (2019) el objetivo de esta evaluación en diversos momentos es analizar la calidad de  
171 los diseños IBD a la vez que construir y/o validar conocimiento sobre las características de las  
172 intervenciones.

173 Sin embargo, de acuerdo con van den Akker (2013), el término calidad es abstracto y muy polisémico,  
174 y por ello consideramos que es necesario especificar y concretar a qué hace referencia. En este sentido  
175 algunos autores (Blessing y Chakrabarti, 2009; Sanmartí, 2010) han puesto de manifiesto que para  
176 analizar la calidad de una producción es necesario atender tanto a los criterios de realización como a  
177 los criterios de calidad o resultado. Los primeros (criterios de realización) hacen referencia al  
178 conjunto de aspectos o pruebas que los/las diseñadores/as deben hacer a la SEA/DI en diversos  
179 momentos del proceso de diseño, implementación y rediseño (p.ej. analizar la relación entre objetivos  
180 de aprendizaje y diseño de las actividades de E-A para conocer su coherencia). En cambio, los  
181 criterios de calidad o criterios de resultados hacen referencia al grado de logro con el que se alcanzan  
182 los criterios de realización, es decir, definen a partir de qué grado o basándonos en qué podemos  
183 afirmar que un criterio de realización se cumple (p.ej. cuando existe una correspondencia del 90%  
184 entre objetivos de aprendizaje y actividades de E-A podemos afirmar que la propuesta es coherente).

185 Como hemos apuntado, en las propuestas IBD a menudo no encontramos una propuesta clara y  
186 explícita ni de los criterios de realización ni de los criterios de calidad que se han utilizado para  
187 evaluar la SEA/DI (Guisasola et al., 2017, 2019; Nieveen y Folmer, 2013). Y cuando sí se hace  
188 referencia explícita a la evaluación de la calidad de la SEA/DI, generalmente encontramos: (1) que  
189 los procedimientos son poco robustos y de carácter informal, es decir, basados únicamente en las  
190 intuiciones de los propios docentes e investigadores tras la implementación, en lugar de en resultados  
191 “medibles” y “observables” (Hernández Rodríguez, 2018; McDermott, 2001); (2) que la mayoría se  
192 centran en la evaluación de un único criterio de realización: la efectividad (Nieveen y Folmer, 2013),  
193 sin ahondar en otros criterios de calidad importantes; y (3) que los resultados de la evaluación pocas

194 veces se relacionan con la toma de decisiones y la mejora iterativa de SEA/DI (Guisasola et al., 2017,  
195 2019; Psillos y Kariotoglou, 2016).

196 Esta falta de atención y consenso sobre la evaluación de la calidad dificulta la realización de  
197 investigaciones profundas que proporcionen a investigadores y docentes orientaciones claras y  
198 plausibles sobre cómo refinar las SEAs/DI que se planean (Guisasola et al., 2017; Hernández  
199 Rodríguez, 2018; McDermott, 2001). Además, la falta de marcos comunes dificulta la generalización  
200 del proceso de diseño y de los resultados obtenidos tras la implementación a otros contextos  
201 (Guisasola et al., 2019).

202 Estamos de acuerdo con Guisasola et al. (2019) cuando afirman que es necesario consensuar un marco  
203 común que permita mejorar sistemáticamente el proceso de diseño de SEAs/DI, su implementación,  
204 y su evaluación. Por ello, a continuación, analizamos en la literatura existente qué elementos,  
205 procesos y criterios se han identificado como claves para la evaluación de la SEA/DI y qué relación  
206 se ha establecido entre ellos.

### 207 **Elementos y procesos de las SEAs/DI claves para la evaluación de su calidad**

208 El diseño, adaptación, implementación y validación de SEAs/DI engloba una serie de procesos (p.ej.  
209 la selección de los principios de diseño, la concreción de los objetivos, el diseño de las actividades...)   
210 que se acaban concretando en una serie de productos educativos (p.ej. material educativo, lista de  
211 objetivos, herramientas didácticas...) que encapsulan este diseño. Tras el análisis de la propuesta de  
212 Millar et al., (2002) para la evaluación de la eficacia en las prácticas de laboratorio y siguiendo la  
213 adaptación de este marco que hace Hernández Rodríguez (2018) para la evaluación de la calidad de  
214 las SEAs/DI, hemos identificado cuatro elementos/ procesos de las SEAs/DI clave para la evaluación  
215 de su calidad: los objetivos de aprendizaje, los materiales educativos, la implementación de la SEA/DI  
216 y los resultados de aprendizaje.

217 Los dos primeros elementos (los objetivos de aprendizaje y los materiales educativos diseñados)  
218 hacen referencia a los aspectos que tradicionalmente se han considerado estructurantes de las  
219 SEAs/DI. Estos se relacionan directamente con la planificación de qué y cómo se va a llevar a cabo  
220 una propuesta educativa en el aula. Concretamente, Autores (año) definen los objetivos de aprendizaje  
221 como aquello que se espera que el alumnado aprenda a la luz de para qué se considera que lo tiene  
222 que aprender. Los materiales educativos de enseñanza-aprendizaje diseñados, en cambio, son  
223 documentos que operacionalizan lo que se ha planificado que piensen, comuniquen y hagan el  
224 alumnado y profesorado para alcanzar los objetivos de aprendizaje definidos.

225 Además de los anteriores, la importancia otorgada al diseño de SEAs/DI de manera iterativa teniendo  
226 en cuenta aspectos de su puesta en práctica (Méheut y Psillos, 2004), ha subrayado la relevancia de  
227 los otros dos elementos/ procesos: la implementación de la SEA/DI y los resultados de aprendizaje  
228 observados. La implementación hace referencia a la intervención en un contexto educativo real,  
229 generalmente un aula. Es decir, se refiere a aquello que realmente alumnado y docentes han llevado  
230 a la práctica. Y los resultados de aprendizaje, a aquello que podemos saber sobre lo que el alumnado  
231 realmente ha aprendido (Hernández Rodríguez, 2018; Millar et al., 2002).

### 232 **Criterios de evaluación (de realización y de calidad) de las SEAs/DI**

233 Con el fin de intentar ordenar y clarificar cómo evaluar la calidad de las SEAs/DI en el paradigma  
234 IBD, Nieveen y Folmer (2013) y van den Akker (1999) han identificado y definido cuatro criterios  
235 de realización: la relevancia o validez del contenido, que analiza el grado de fundamentación teórica  
236 de la propuesta; la consistencia o validez del constructo, que analiza la coherencia entre las diferentes  
237 partes del diseño; la utilidad o practicidad de la propuesta, que analiza el interés del diseño para ser  
238 implementado en condiciones habituales; y la eficacia, que analiza hasta qué punto los resultados  
239 obtenidos son los deseables).



240 Un aspecto destacado de la propuesta anterior es la jerarquía lógica que se establece entre los cuatro  
 241 criterios de realización presentados (Romero-Ariza, 2014). Según Plomp (2013), por ejemplo, no  
 242 tiene sentido analizar la utilidad de una SEA/ DI si esta no está bien diseñada y no es consistente, es  
 243 decir, si antes no nos hemos asegurado de que el diseño tiene una buena validez. Otro ejemplo, es que  
 244 no es necesario profundizar en el análisis de la efectividad si la propuesta aún no ha demostrado ser  
 245 útil en la práctica.

#### 246 **Un marco analítico para la evaluación de la calidad de las SEAs/DI**

247 Partiendo de los elementos/prácticas que conforman el diseño y los criterios de realización  
 248 anteriormente identificados, y en un primer intento de clarificar y operativizar la evaluación de la  
 249 calidad de las SEAs/DI, Hernández Rodríguez (2018) ha propuesto un marco analítico en el que se  
 250 establecen relaciones entre ambos aspectos.

251 En el marco propuesto por la autora anterior, la validez es el criterio de calidad que analiza el grado  
 252 de consistencia entre objetivos de aprendizaje y el material educativo diseñado. La utilidad se fija en  
 253 la relación entre implementación y resultados de aprendizaje. Además, basándose en la propuesta de  
 254 (Millar et al., 2002) la eficacia se concreta y define en dos niveles: la eficacia nivel 1, criterio que  
 255 analiza la consistencia entre el material educativo diseñado y su implementación real de aula; y la  
 256 eficacia nivel 2, criterio que analiza la consistencia entre resultados y objetivos de aprendizaje  
 257 planteados.

258 Este marco nos parece una propuesta especialmente interesante para que docentes e investigadores  
 259 evalúen la calidad de SEAs/DI y/o actividades concretas desde un marco de diseño, porque permite  
 260 empezar a establecer relaciones entre la evaluación y cada uno de los elementos/ prácticas que  
 261 conforman el diseño. Sin embargo, creemos que es necesario profundizar en el mismo para la  
 262 evaluación de la calidad de las SEAs/DI desde una perspectiva IBD que realmente pretende aportar  
 263 al conocimiento y la investigación en el campo, ya que en él faltan algunos elementos clave para este  
 264 paradigma. Por ejemplo, explicitar el papel de los principios y herramientas de diseño en los que se  
 265 sustenta y a los que a la vez aporta la SEA/DI, o dar importancia a las herramientas didácticas (p.ej.  
 266 andamiajes, protocolos...) que se incluyan (DBR Collective, 2003).

#### 267 **Una nueva propuesta para la evaluación de la calidad de las SEAs/DI desde la** 268 **perspectiva IBD**

269 Teniendo en cuenta los marcos anteriores, a continuación, presentamos una nueva propuesta de marco  
 270 para la evaluación de la calidad de las SEAs/DI desde una visión de la investigación didáctica centrada  
 271 en el diseño en sentido amplio, así como concretamente desde la perspectiva IBD.

272 Uno de los primeros aspectos que ha sido necesario concretar cuales son los elementos y prácticas  
 273 clave del proceso de diseño de SEA/DI, y hacerlo revisando la relación entre teoría y práctica y la  
 274 recursividad presentada en los marcos anteriores, ya que ambos aspectos son especialmente relevantes  
 275 dentro del paradigma IBD (Ortiz Revilla, 2020; Plomp y Nieveen, 2013; Psillos y Kariotoglou, 2016;  
 276 Romero-Ariza, 2014) (figura 1).



277

278 **Figura 1.** Elementos y prácticas clave que conforman una SEA/DI en el paradigma IBD identificados a partir de la  
 279 propuesta de Hernández Rodríguez, (2018; basada en Millar, Le Meréchal y Tiberghien, 2002) y revisados teniendo en  
 280 cuenta las finalidades y aspectos relevantes del paradigma IBD. A la izquierda de la imagen aquellos elementos más  
 281 relacionados con el “mundo de la teoría” y a la derecha aquellos elementos más relacionados con el “mundo de la  
 282 práctica”. Las diferentes flechas de la figura indican la recursividad existente entre los elementos y prácticas clave.

283 A continuación, se revisa en profundidad algunos de los elementos y prácticas clave y los criterios de  
 284 realización de los marcos de evaluación anteriores. Este análisis nos ha permitido, por un lado,  
 285 identificar qué aspectos de los marcos anteriores se debían mejorar y, por otro lado, revisar la relación  
 286 que se establece entre elementos/prácticas y criterios de realización a partir de los principios y  
 287 objetivos del paradigma IBD.

288 **Elementos y prácticas clave de la nueva propuesta de marco para la evaluación de SEAs/DI**  
 289 **desde la perspectiva IBD**

290 La relevancia que el paradigma IBD otorga a las aportaciones a la teoría y al diseño de herramientas  
 291 (DBR Collective, 2003), ha subrayado la necesidad de incorporar explícitamente los principios de  
 292 diseño y su encapsulación en herramientas para el diseño y herramientas didácticas o para la  
 293 enseñanza. También se ha revisado qué entendemos por resultados de aprendizaje. Estos elementos y  
 294 prácticas se han incorporado al esquema del marco presentado en la figura 1.

295 **La incorporación de los principios de diseño como elementos clave de las SEAs/DI en el paradigma IBD**

296 El primero de los elementos que ha sido necesario incorporar a la propuesta de evaluación han sido  
 297 los principios de diseño. Estos son la concreción y operativización de teorías y marcos educativos en  
 298 los que se basa la SEA/DI, es decir, un conjunto de aspectos pragmáticos que guían el diseño y su  
 299 implementación (Muñoz-Campos et al., 2020). En algunos casos estos principios de diseño se pueden  
 300 concretar y operativizar en forma de herramientas para el diseño que pueden haber sido consensuadas  
 301 y consolidadas en investigaciones anteriores o bien fundamentarse empíricamente en la investigación  
 302 IBD en curso (Plomp, 2013).

303 Los principios de diseño son clave en la fase inicial de la SEA/DI (fundamentación inicial), al guiar  
 304 el diseño y concreción de los objetivos, las actividades y herramientas didácticas, su secuenciación,  
 305 etc. Pero también lo son en la última fase (análisis retrospectivo) donde los resultados y producciones  
 306 de la SEA/DI son analizados exhaustivamente y comparados con los obtenidos en otras  
 307 investigaciones (Anderson y Shattuck, 2012). Esta comparación permite aportar a la construcción y/o  
 308 validación de algunas de las teorías, principios de diseño y/o herramientas para el diseño en los que  
 309 se basa, por ejemplo, reforzando algunas de las ideas con las que se parte y consolidando o mejorando  
 310 herramientas de diseño útiles para otros diseños.

311 **La incorporación de las herramientas como elementos estructurantes de las SEAs/DI en el paradigma**  
 312 **IBD**

313 Otro de los aspectos clave y característico del marco IBD es que busca comprender y mejorar el  
 314 proceso educativo generando y/o validando productos o herramientas útiles para el diseño y la  
 315 intervención en las aulas fundamentados en investigación (Blessing y Chakrabarti, 2009; Nieveen y  
 316 Folmer, 2013). Tanto es así, que algunos autores consideran el diseño de estos productos el tercer  
 317 objetivo de las propuestas IBD (DBR Collective, 2003).

318 Basándonos en el uso habitual en la literatura, en esta investigación diferenciamos dos tipos de  
 319 herramientas en función de su finalidad: las herramientas para el diseño y las herramientas para la  
 320 enseñanza o herramientas didácticas. Las herramientas para el diseño hacen referencia al conjunto de  
 321 productos consensuados y consolidados que se adoptan en la investigación y que permiten  
 322 operativizar y concretar los principios de diseño y, por tanto, que son útiles para orientar el diseño y  
 323 estructuración de la SEA/DI. Algunos ejemplos de este tipo de herramientas podrían ser: el ciclo de  
 324 aprendizaje (Sanmartí y Jorba de 1994), las demandas de aprendizaje (Leach y Scott 2002 en Autores,  
 325 año) o los ciclos de indagación (Jiménez-Liso, 2020) y modelización (Autores, año). En cambio, las  
 326 herramientas didácticas hacen referencia al conjunto de productos, andamiajes o protocolos, entre  
 327 otros, que se diseñan y/o adaptan, implementan y mejoran iterativamente a lo largo de la investigación  
 328 (Blessing y Chakrabarti, 2009) y que guían la práctica de enseñanza y aprendizaje de alumnado y  
 329 docentes. Estas buscan ser transferibles a otros contextos, contenidos, temáticas y SEAs/DI. Un  
 330 ejemplo de herramienta de diseño es el esquema de análisis de prácticas experimentales propuesto  
 331 por Márquez et al., (2003) o la plantilla XXXXX de las autoras (Autores, año).

332 **La revisión del uso del término “resultados de aprendizaje” en las SEAs/DI del paradigma IBD**

333 Normalmente el término “resultados de aprendizaje” se ha utilizado para referirse al conjunto de  
 334 pruebas que evidencian que el alumnado aprende al involucrarse en una SEA/DI. Sin embargo, en  
 335 muchas ocasiones este concepto puede resultar ambiguo, al referirse a constructos de diversa  
 336 naturaleza.

337 Habitualmente en la investigación se ha prestado especial atención a la naturaleza de los resultados  
 338 con relación a la tipología de análisis de datos a partir de los cuales se han obtenido. Así, en muchas  
 339 ocasiones se diferencia entre análisis y resultados cuantitativos, cualitativos o una mezcla de ambos  
 340 (mixtos). Estamos de acuerdo con diversos autores (Anderson y Shattuck, 2012; Ortiz Revilla, 2020)  
 341 que en el marco IBD la selección y uso de los diferentes métodos de recogida, análisis y presentación  
 342 de los resultados responde principalmente a los objetivos, necesidades y momentos de la  
 343 investigación que se está llevando a cabo. Sin embargo, tras un análisis introspectivo de cómo  
 344 nosotras mismas hablamos de los resultados de aprendizaje en diferentes publicaciones, nos parece  
 345 interesante autoexigirnos como campo ir más allá de la clasificación ontológica anterior y centrarnos  
 346 en la clasificación en función del grado de sofisticación con el que hemos realizado la recogida de  
 347 datos y particularmente el análisis de los resultados de aprendizaje.

348 Desde este punto de vista, el término resultados de aprendizaje comprende un amplio espectro de  
 349 significados. En un extremo tenemos resultados poco justificados, basados en análisis inexistentes,  
 350 no explícitos o muy incipientes de datos, como por ejemplo percepción del aprendizaje como



351 observador participante. Así, hablamos de resultados que se derivan directamente de los comentarios,  
352 percepciones y/o sensaciones que los diferentes participantes (docentes, alumnado, investigadores)  
353 tienen durante el diseño e implementación de la SEA/DI. Son ejemplo de estos resultados muy  
354 cercanos a la propia experiencia afirmaciones como “los alumnos parecían estar contentos e  
355 interesados mientras hacían la actividad porque participaban activamente” o “el resultado es  
356 satisfactorio en términos de aprendizaje ya que el alumnado declara saber explicar los conceptos en  
357 el KPSI final” o “la SEA es adecuada porque el 60% de alumnos obtiene una nota superior a 6”.

358 En el otro extremo situaríamos los resultados de aprendizaje obtenidos tras un análisis de datos  
359 exhaustivo, a menudo inspirado o basado en categorías y resultados de investigaciones similares y  
360 con conexión con la teoría didáctica y la literatura en el ámbito. Estos permiten hacer afirmaciones  
361 concretas del tipo “el 60% del alumnado tiene una idea respecto a la estructura del aire semicontinua  
362 y a escala macroscópica de acuerdo con las categorías de Talanquer (2009)” o “la explicación inicial  
363 de los estudiantes se basa principalmente en la idea de flujo de frío pero proporciona diferentes  
364 interpretaciones del papel de las variables: conductividad y superficie (Autores, año)”.

365 Entre los dos extremos anteriores, existe un gran abanico de propuestas que se basan en análisis de  
366 datos con diferentes grados de sofisticación y, por tanto, inversión en términos de tiempo y esfuerzo.  
367 Conocer las potencialidades y limitaciones de cada una de las tipologías de resultados de aprendizaje  
368 anteriores es determinante para la evaluación de la calidad de las SEAs/DI en diferentes momentos.  
369 Así, por ejemplo, los resultados de aprendizaje a partir de un análisis incipiente y que se derivan  
370 directamente de los datos requieren poco tiempo, lo que permite tomar decisiones sobre las SEAs/DI  
371 de forma rápida, gestionando posibles contingencias incluso en el transcurso de su implementación.  
372 Sin embargo, estos resultados están muy ligados al contexto y momento de la implementación y hacen  
373 difícil su generalización y/o su aportación a los principios de diseño y la mejora de las herramientas  
374 de diseño. En el lado opuesto encontramos los resultados de aprendizaje ligados a análisis complejos  
375 de investigación, que necesitan un tiempo mucho más largo haciéndolos poco útiles para la toma de  
376 decisiones en el transcurso de la actividad o inmediatamente después de esta. Sin embargo, estos  
377 facilitan la obtención de información muy valiosa y mucho más generalizable, por ejemplo, sobre el  
378 aprendizaje del alumnado y/o el papel docente, lo que permite hacer aportaciones a los principios y/o  
379 herramientas de diseño.

380 En nuestra opinión, -todas las tipologías de resultados de aprendizaje aportan de alguna manera a la  
381 evaluación de la SEA/DI, pero no de la misma forma, respecto a los mismos constructos/elementos  
382 ni con el mismo valor. Por ello, en el ámbito de la investigación en Didáctica de las Ciencias  
383 deberíamos ser transparentes con el tipo de resultados de aprendizaje usados y coherentes con la  
384 atribución de calidad que se puede otorgar a los diseños, en base a los mismos. No deberíamos atribuir  
385 calidad a una SEA/DI en términos de favorecer el aprendizaje del alumnado si este aprendizaje no ha  
386 sido evaluado con un mínimo de profundidad.

### 387 **Criterios de realización y calidad para la evaluación de SEAs/DI desde la perspectiva IBD**

388 Partiendo de la propuesta de Nieveen y Folmer (2013); Millar et al. (2002) y Hernández Rodríguez  
389 (2018) donde se identificaban cuatro criterios de calidad se han revisado e identificado qué criterios  
390 de realización son útiles para la evaluación de la calidad de una SEA/DI desde la perspectiva IBD.

391 Un primer análisis de los criterios propuestos y sus definiciones nos ha permitido diferenciar  
392 dimensiones para evaluar la calidad y criterios de realización que nos permiten operativizar la  
393 evaluación de cada una de ellas. Así, por ejemplo, siguiendo la propuesta de Millar et al. (2002)  
394 diferenciamos dos criterios de calidad para la dimensión de eficacia (nivel 1 y 2) y añadimos un  
395 tercero (nivel 3).

396 Tras este análisis se han diferenciado tres dimensiones complementarias para la evaluación de la  
397 calidad de las propuestas educativas en el marco IBD: (1) la validez, (2) la utilidad y (3) la  
398 confiabilidad. Para cada una de ellas se han identificado dos o tres criterios de realización. Las

399 dimensiones y criterios han quedado recogidos, junto con sus definiciones, en la siguiente figura  
 400 (figura 2).

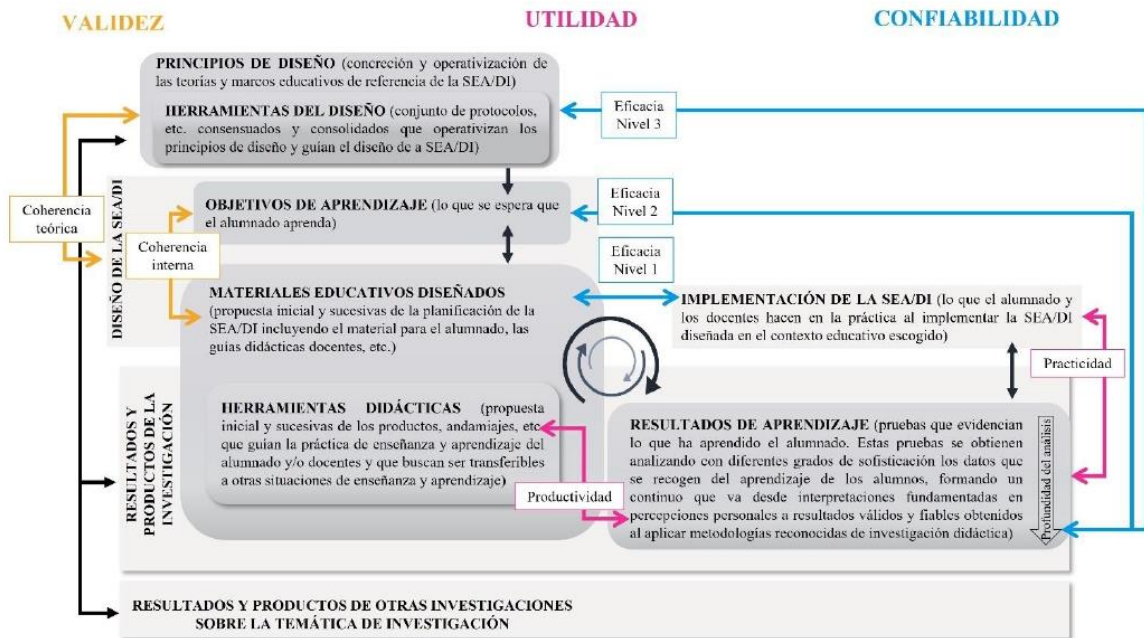
DIMENSIÓN	DEFINICIÓN	CRITERIOS	DEFINICIÓN
Validez	Indica hasta qué punto el diseño de la SEA/DI planteado (objetivos de aprendizaje y materiales educativos diseñados) es coherente y se basa en el conocimiento didáctico, pedagógico y científico actual.	Coherencia interna	Indica hasta qué punto los materiales educativos diseñados permiten teóricamente lograr los objetivos de aprendizaje que se persiguen.
		Coherencia teórica	Indica hasta qué punto el diseño de la SEA/DI que se plantea se basa en los principios de diseño y en el conocimiento didáctico, pedagógico y científico relevante.
Utilidad	Analiza hasta qué punto el diseño y la implementación de SEA/DI permiten obtener resultados de aprendizaje y herramientas didácticas provechosas, es decir, útiles para orientar la implementación en el contexto habitual del aula y/o otros contextos.	Practicidad	Indica hasta qué punto la implementación de la SEA/DI se considera provechosa en base a la propia experiencia y/o un análisis incipiente de los resultados de aprendizaje. Es decir, tras observar lo que se ha hecho y dicho e interpretar lo que se ha pensado y sentido durante la implementación.
		Productividad	Indica hasta qué punto el diseño de la SEA/DI incluye herramientas didácticas que muestran ser provechosas y aplicables en otros contextos educativos en términos de los resultados de aprendizaje.
Confiabilidad	Indica el grado en el que se puede confiar en el diseño de la SEA/DI planteado (objetivos de aprendizaje y materiales educativos diseñados) porque su implementación es fidedigna, los resultados de aprendizaje son los esperados y se refuerzan empíricamente los principios de diseño en los que se basa.	Eficacia Nivel 1 o del diseño	Indica hasta qué punto el análisis de la implementación de la actividad se realiza de acuerdo al diseño de la misma y, por tanto, pasa en el aula lo planificado.
		Eficacia Nivel 2 o de los resultados	Indica hasta qué punto el análisis de los resultados de aprendizaje prueba que se cumplen los objetivos de aprendizaje que se persiguen.
		Eficacia Nivel 3 o de las teorías	Indica hasta qué punto los resultados de aprendizaje refuerzan empíricamente los principios de diseño en los que se basa la propuesta.

401

402 **Figura 2.** Dimensiones y categorías para la evaluación de la calidad de SEAs/DI en el paradigma IBD y sus definiciones.  
 403 De color amarillo se identifican los elementos relativos a la validez, en rosa lo relativo a la utilidad y en azul lo relativo a  
 404 la confiabilidad

405 **Operativización de un marco analítico para la evaluación de la calidad SEAs/DI desde la**  
 406 **perspectiva IBD**

407 Como resultado de la revisión anterior, se ha establecido una propuesta de nuevo marco operativo  
 408 para la evaluación de SEAs/DI que ha quedado recogida en la figura 3.



409

410 **Figura 3.** Propuesta de marco analítico operativo para la evaluación de propuestas didácticas reelaborada a partir de la  
 411 propuesta de Hernández Rodríguez (2018). En tonalidades grises se identifican los elementos y prácticas clave de una  
 412 SEA/DI en el paradigma IBD. En el lateral derecho, y de color amarillo, la relación entre los distintos elementos y  
 413 prácticas que establecen los criterios relativos a la validez; en la parte inferior y en rosa, la relación entre los elementos y



414 prácticas que establecen cada uno de los criterios relativos a la utilidad, y en el lateral izquierdo y de color azul, las  
415 relaciones entre los elementos y prácticas que establecen los criterios relativos a la confiabilidad.

416 Tal como se puede observar en la figura 3, el grado de validez de una SEA/DI diseñada en el marco  
417 IBD (es decir hasta qué punto los objetivos y material educativo de la SEA/DI son coherentes y están  
418 alineados con el conocimiento científico y didáctico actual) se puede evaluar a partir de dos criterios:  
419 la coherencia interna y la coherencia teórica (líneas en amarillo y en la parte izquierda de la figura 3).  
420 En el caso de la coherencia interna, se busca analizar hasta qué punto el material educativo diseñado  
421 permite lograr los objetivos de aprendizaje que se persiguen. En el caso de la coherencia teórica, en  
422 cambio, se busca analizar hasta qué punto el diseño de la SEA/DI (los objetivos de aprendizaje y del  
423 material educativo diseñado) se sustentan en los principios de diseño identificados y en el  
424 conocimiento didáctico, pedagógico y científico actual. En este sentido, es importante destacar que  
425 la evaluación de la validez de una SEA/DI responde únicamente a un análisis de carácter teórico de  
426 algunos elementos que la forman. En consecuencia, y de acuerdo con Nieveen y Folmer, (2013), esta  
427 evaluación debe estar presente ya en las primeras etapas de diseño las propuestas IBD.

428 Para analizar la utilidad (es decir, hasta qué punto el diseño e implementación de la SEA/DI permiten  
429 obtener resultados de aprendizaje y herramientas didácticas provechosas) nos debemos fijar también  
430 en dos aspectos: la practicidad y la productividad (en color rosa y en la parte inferior de la figura 3).  
431 Para conocer la practicidad de una propuesta se debe analizar hasta qué punto la implementación de  
432 la SEA/DI se considera útil en base a la propia experiencia y/o análisis incipientes de los resultados  
433 de aprendizaje para ser implementados en las condiciones habituales de aula. En cambio, la  
434 productividad debe analizar hasta qué punto la SEA/DI incluye herramientas didácticas que son  
435 provechosas y aplicables en otros contextos y situaciones educativas teniendo en cuenta los resultados  
436 de aprendizaje tras su implementación. La evaluación de la utilidad de una SEA/DI implica analizar  
437 la relación entre aspectos de naturaleza teórica (p.ej. materiales educativos) y práctica (p.ej.  
438 implementación de la SEA/DI), por ello, debe empezarse a tener en cuenta una vez se haya diseñado  
439 e implementado la SEA/DI en la fase de desarrollo y pilotaje. Además, este análisis debe ir  
440 evolucionando en profundidad con los diferentes ciclos iterativos y a medida que la SEA/DI se va  
441 sofisticando.

442 Para conocer el grado de confiabilidad de una SEA/DI (es decir, hasta qué punto se puede confiar en  
443 el diseño instruccional de la SEA/DI en términos de diseño, resultados o teoría) debemos fijarnos en  
444 la eficacia a tres niveles (en color azul y en la parte superior derecha en la figura 3): eficacia nivel 1  
445 o del diseño, eficacia nivel 2 o de los resultados, eficacia nivel 3 o de las teorías. La eficacia nivel 1 o  
446 del diseño se centra en analizar hasta qué punto el análisis de la implementación de la actividad se  
447 realiza siguiendo el diseño elaborado y, por tanto, pasa aquello que se prevé que pase. La eficacia  
448 nivel 2 o de los resultados analiza hasta qué punto los resultados de la investigación prueban que se  
449 logran cumplir los objetivos de aprendizaje que se persiguen en la SEA/DI. Por último, la eficacia  
450 nivel 3 o de las teorías analiza hasta qué punto los resultados de aprendizaje refuerzan los principios  
451 y/o herramientas de diseño y el conocimiento didáctico, pedagógico y científico actual en el que se  
452 basan. Así, la confiabilidad se evalúa a partir de un análisis exhaustivo y complejo de los resultados  
453 de aprendizaje obtenidos y su relación con aspectos como el diseño o los objetivos. Es precisamente  
454 este análisis en profundidad el que debe permitir partir de la práctica concreta de la SEA/DI y hacer  
455 aportes en la validación, evaluación, concreción de la teoría o principios de diseño. Por ello, este tipo  
456 de evaluaciones a menudo se da en las últimas etapas del proceso de realización de una IBD (final de  
457 la fase de desarrollo y pilotaje y durante el análisis retrospectivo).

## 458 **A modo de conclusión**

459 A partir de la revisión de los elementos y prácticas clave de una SEA/DI y de los criterios para su  
460 evaluación de trabajos anteriores sobre la evaluación de la calidad de trabajos de laboratorio (Millar  
461 et al., 2002), de SEAs/DI elaboradas desde un marco de diseño (Hernández Rodríguez, 2018) y de  
462 SEAs/DI desde el paradigma IBD (Nieveen y Folmer, 2013), en este artículo se hace una nueva

463 propuesta de marco operativo para la evaluación de la calidad de las SEAs/DI desde la perspectiva  
464 IBD.

465 Uno de los aspectos destacados de este nuevo marco es que incorpora elementos y prácticas  
466 características del paradigma IBD que no estaban presentes en las propuestas anteriores como los  
467 principios de diseño, las herramientas de diseño y las herramientas didácticas. La incorporación de  
468 estos elementos como parte estructurante del marco de evaluación permite tener en cuenta la  
469 relevancia que adquiere en el paradigma IBD la relación entre teoría y práctica, así como la necesidad  
470 de diseñar materiales de utilidad para diseñadores y docentes (DBR Collective, 2003; Guisasola et  
471 al., 2019; Romero-Ariza, 2014).

472 Además, en esta propuesta también se profundiza en la concreción de los resultados de aprendizaje  
473 en función de su grado de sofisticación tanto respecto a la tipología de los datos recogidos como a la  
474 profundidad del análisis realizado, sin centrarse en su naturaleza (cualitativa, cuantitativa...).

475 Creemos que esta aportación puede ser especialmente interesante ya que subraya las potencialidades  
476 y limitaciones que tienen los diferentes tipos de análisis y resultados en cada una de las fases del  
477 proceso de diseño y evaluación de las SEAs/DI. Este hecho permite establecer una jerarquía lógica  
478 entre la evaluación y las distintas fases del proceso de diseño de una IBD similar al que apuntan  
479 Nieveen y Folmer (2013).

480 Por otro lado, la nueva propuesta afronta dos de las principales problemáticas subrayadas por la  
481 literatura respecto a la evaluación de la calidad SEAs/DI en este marco: la concreción del término  
482 “calidad” (van den Akker, 1999) y la relación entre la evaluación y los cambios en el diseño de la  
483 SEA/DI (Guisasola et al., 2017).

484 Para el primero de los problemas apuntados, la nueva propuesta define la “calidad” de una SEA/DI  
485 desde la perspectiva IBD como un aspecto medible en base a tres dimensiones: la validez, la utilidad  
486 y la confiabilidad. Estas dimensiones se evalúan a través de siete criterios de realización: la coherencia  
487 interna y la coherencia teórica en el caso de la validez; la practicidad y la productividad en el caso de  
488 la utilidad y la eficacia nivel 1, 2 y 3 en el caso de la confiabilidad. A pesar de que excede la  
489 posibilidad de este artículo mostrar ejemplos de investigaciones reales que usen estos criterios de  
490 realización de diferentes modos, creemos que es muy útil el ejercicio de compararlos y discutirlos.  
491 Para un ejemplo concreto en el contexto de una SEA/DI de primaria sobre la contaminación  
492 atmosférica, ver el trabajo de tesis doctoral de la Autora (Autores, en proceso)

493 La evaluación de cada uno de los criterios de realización anteriores se establece a partir de la relación  
494 directa entre dos de los elementos/prácticas clave de una SEA/DI. Este hecho permite dibujar  
495 relaciones claras entre aquello que se evalúa y los cambios que se pueden realizar en el diseño de la  
496 SEA/DI. Así, por ejemplo, la coherencia interna es el criterio de realización que evalúa la relación  
497 entre objetivos de aprendizaje y los materiales educativos diseñados, por ello, los resultados de este  
498 análisis deben permitir orientar los cambios y mejoras de los objetivos de aprendizaje y de los  
499 materiales educativos diseñados.

500 Además, la definición y concreción de todo lo anterior creemos que puede ser útil para romper con  
501 una concepción muy establecida entre las propuestas IBD que relaciona la calidad de las SEAs/DI  
502 simplemente con el número de iteraciones a las que ha sido sometida (habitualmente tres), sin  
503 justificar por qué ese número de iteraciones ni en qué se está mejorando al iterar. En este sentido, la  
504 nueva propuesta relaciona la calidad con los criterios de realización (el conjunto de pruebas que se  
505 deben hacer para conocer la calidad de una investigación) y los criterios de calidad (grado de logro o  
506 calidad con la que se dan los criterios de realización). Es decir, relaciona la calidad con el análisis del  
507 grado de exigencia de las pruebas, que puede ser muy alto con una única iteración si existe una  
508 excelente fundamentación inicial (por ejemplo, respecto un tema muy estudiado en la literatura) y si  
509 se ha realizado una implementación cuidada y sobre todo si se ha analizado en profundidad. Así,  
510 teniendo el marco propuesto en cuenta, una SEA/DI se podrá considerar de calidad y definitiva  
511 cuando demuestre ser suficientemente válida, útil y confiable independientemente del trabajo teórico  
512 e iteraciones prácticas que hayan sido necesarias para ello.

513 A pesar de las potencialidades que creemos que tiene el marco presentado, consideramos que este es  
514 solo un primer paso para poder establecer un marco de evaluación consensuado. Somos conscientes  
515 de la necesidad de, por un lado, seguir reflexionando en un futuro sobre la definición de los criterios  
516 de calidad o resultado (p.ej. qué quiere decir suficientemente útil) que actualmente depende del  
517 contexto donde se diseña e implementa y de la tradición didáctica del mismo. Por otro lado, también  
518 se requiere profundizar en la manera y los instrumentos concretos con los que evaluar cada una de las  
519 dimensiones y criterios de realización apuntados en el marco. Como campo profesional, sin embargo,  
520 creemos firmemente que en didáctica de las ciencias debemos operativizar y compartir más y mejor  
521 qué entendemos por calidad, e invitamos a nuestras colegas a seguir trabajando en esta línea.

## 522 **Agradecimientos**

523 XXXX

## 524 **Referencias**

525 Autores (Año)

526 Autores (año)

527 Autores (año)

528 Autores (año)

529 Autores (año)

530 Anderson, T., y Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education  
531 research? *Educational Researcher*, 41(1), 16–25. <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>

532 Bakker, A., y van Eerde, D. (2015). *An Introduction to Design-Based Research with an Example From*  
533 *Statistics Education*. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9181-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9181-6_16)

534 Blessing, L.T., y Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a Design Research Methodology*. Springer.

535 Cobb, P., Confrey, J., Disessa, A., Lehrer, R., y Schauble, L. (2003). Design Experiments in  
536 Educational Research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13.  
537 <https://doi.org/10.3102/0013189X032001009>

538 Cobo-Huesa, C., Abril, A.M., y R. Ariza, M. (2021). Investigación basada en el diseño en la formación  
539 inicial de docentes para una enseñanza integrada de la naturaleza de la ciencia y el pensamiento  
540 crítico. *Revista Eureka*, 18(3), 617–627. <https://doi.org/10.25267/Rev>

541 DBR Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry.  
542 *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>

543 Domènech-Casal, J. (2018). Retorno a Karlsruhe: una experiencia de investigación con la Tabla  
544 Periódica para prender la estructura y propiedades de los elementos químicos. *Revista Eureka*,  
545 16(1). <https://doi.org/10.25267/Rev>

546 Gravemeijer, K. (2004). Local Instruction Theories as Means of Support for Teachers in Reform  
547 Mathematics Education. *Mathematical Thinking and Learning*, 6(2), 105–128.  
548 [https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0602\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0602_3)

549 Gravemeijer, K., y Cobb, P. (2013). Design research from the learning design perspective. In  
550 *Educational Design Research* (pp. 72–113). <http://international.slo.nl/publications/edr/>

551 Guisasaola, J., Ametller, J., y Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de Secuencias de  
552 Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias.  
553 *Revista Eureka*, 18(1). <https://doi.org/10.25267/Rev>



- 554 Guisasola, J., y Oliva, J. M. (2020). Nueva sección especial de REurEDC sobre investigación basada  
555 en el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje. *Revista Eureka*, 13(3), 617–627.  
556 <https://doi.org/10.25267/Rev>
- 557 Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J., y Gutierrez-Berraondo, J. (2017). Evaluating and redesigning  
558 teaching learning sequences at the introductory physics level. *Physical Review Physics  
559 Education Research*, 13(2), 1–14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020139>
- 560 Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J., y Gutierrez-Berraondo, J. (2019). Una propuesta de diseño,  
561 evaluación y rediseño de secuencias de enseñanza- aprendizaje en Física introductoria. *UTE,  
562 Monogràfic*, 109–122.
- 563 Hernández-Torrano, D., y Courtney, M. G. R. (2021). Modern international large-scale assessment in  
564 education: an integrative review and mapping of the literature. *Large-Scale Assessments in  
565 Education*, 9(1), 1–33. <https://doi.org/10.1186/s40536-021-00109-1>
- 566 Hernández, M. I., y Pintó, R. (2016). The process of iterative development of a teaching/learning  
567 sequence on acoustic properties of materials. In *Iterative Design of Teaching-Learning  
568 Sequences* (pp. 1–382). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- 569 Hernández Rodríguez, M. I. (2018). Com a docents de ciències, avaluem la nostra pràctica? *Revista  
570 Ciències*, 36, 20–29. <https://doi.org/10.5565/rev/ciències.397>
- 571 Kelly, A. E., Lesh, R. A., y Baek, J. (2014). *Handbook of Design Research Methods in Education*.  
572 Routledge.
- 573 Márquez, C., Roca, M., y Via, A. (2003). Plantejar bones preguntes: el punt de partida per mirar, veure  
574 i explicar amb sentit. In *Aprender ciències tot aprenent a escriure ciència*. Edicions 62.
- 575 McDermott, L. C. (2001). Oersted Medal Lecture 2001: “Physics Education Research. The Key to  
576 Student Learning.” *American Journal of Physics*, 69(11), 1127–1137.  
577 <https://doi.org/10.1119/1.1389280>
- 578 Méheut, M., y Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education  
579 research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535.  
580 <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- 581 Millar, R., Tiberghien, A., y Maréchal, J.-F. (2002). Varieties of Labwork: A Way of Profiling  
582 Labwork Tasks. In *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 9–20).  
583 [https://doi.org/10.1007/0-306-48196-0\\_3](https://doi.org/10.1007/0-306-48196-0_3)
- 584 Muñoz-Campos, V., Franco-Mariscal, A.-J., y Blanco-López, Á. (2020). Integration of scientific  
585 practices into daily living contexts: a framework for the design of teaching- learning sequences.  
586 *International Journal of Science Education*, 42(15), 1–27.  
587 <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1821932>
- 588 Nieveen, N., y Folmer, E. (2013). Formative evaluation in educational design research. In  
589 *Educational Design Research. An introduction* (pp. 152–169).
- 590 Ortiz Revilla, J. (2020). *El desarrollo competencial en Educación Primaria: efectos de una propuesta  
591 STEAM integrada*. Tesis doctoral, Universidad de Burgos.
- 592 Plomp, T. (2013). Educational Design Research: an Introduction. In Plomp y Nieveen (eds).  
593 *Educational Design Research: an Introduction* (pp. 9–35).
- 594 Plomp, T., y Nieveen, N. (2013). *Educational Design Research*. SLO. The Netherlands
- 595 Psillos, D., y Kariotoglou, P. (2016). Iterative Design of Teaching-Learning Sequences. In *Iterative  
596 Design of Teaching-Learning Sequences*.

- 597 Romero-Ariza, M. (2014). Uniendo investigación, política y práctica educativas: DBR, desafíos y  
598 oportunidades. *Magis*, 7(14), 159–176. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.M7-14.UIPP>
- 599 Sanmartí, N. (2010). Avaluar per aprendre: l'avaluació per millorar els aprenentatges de l'alumnat en  
600 el marc del currículum per competències. *Generalitat de Catalunya: Departament d'Educació*.
- 601 van den Akker, J. (1999). Principles and Methods of Development Research. *Design Approaches and*  
602 *Tools in Education and Training*, 1–14. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-4255-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-011-4255-7_1)
- 603 van den Akker, J. (2013). Curricular development research as a specimen of educational design  
604 research. In *Educational Design Research. Part A: An introduction*. (pp. 53–70).
- 605 van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., y Nieveen, N. (2006). *Educational Design*  
606 *Research*. Routledge. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-25233-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-658-25233-5_3)
- 607 Wang, F., y Hannafi, M. J. (2005). Design-Based Research and Teachnology-Enhanced Learning  
608 Environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5–23.  
609 <https://doi.org/10.4018/978-1-878289-59-9.ch016>

# SECCIÓ

# 3

## **OBJECTIUS, PREGUNTES DE RECERCA I ESTRUCTURA DE LA TESI**



## 3

# OBJECTIUS, PREGUNTES DE RECERCA I ESTRUCTURA DE LA TESI

## 3.1. OBJECTIUS I PREGUNTES DE RECERCA

En base als aspectes presentats anteriorment, l'objectiu general d'aquesta tesi és:

**Planificar, dissenyar, implementar, avaluar i refinar una seqüència didàctica (SEA/DI) contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys) que demostrï qualitat en estar fonamentada en recerca, ser subjecte de recerca i aportar a la recerca.**

D'acord amb l'objectiu anterior i també amb el marc de IBD en el que s'emmarca aquesta recerca això implica, en primer lloc, compartir el procés de planificació, disseny i implementació de la SEA/DI emfatitzant, per exemple, els principis en els que es fonamenta, les eines de disseny utilitzades, els materials educatius i eines del disseny proposats. En segon lloc, comporta fer explícit l'anàlisi de la qualitat de la SEA/DI a partir de l'avaluació d'aspectes com la seva implementació, l'avaluació dels resultats obtinguts o el redisseny/refinament derivats. I, per últim, identificar i compartir les aportacions més rellevants que tant l'anàlisi del procés com dels resultats obtinguts fan als principis i eines de disseny de la SEA/DI.

Tenint en compte els aspectes anteriors, ha estat necessari dividir l'objectiu general en dos objectius específics (OE) que es presenten a continuació. El primer objectiu té un enfocament de disseny relacionat amb el procés de planificació, disseny i implementació de la SEA/DI; i el segon objectiu, amb un enfocament de recerca, està relacionat amb el procés d'avaluació de la qualitat de la SEA/DI dissenyada en termes de validesa, utilitat i confiabilitat; i en les aportacions als principis i eines de disseny que es deriven d'aquesta. Cadascun d'aquests objectius específics està vinculat a una de les seccions d'aquesta tesi doctoral: el primer objectiu específic (OE1) amb la secció 4 ([enllaç](#)) i el segon objectiu específic (OE2) amb la secció 5 ([enllaç](#)).

**OE1. Identificar els principis, eines de disseny, objectius didàctics, materials educatius i eines didàctiques clau pel disseny d'una seqüència didàctica contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica per a alumant de cicle superior de primària (10-12 anys) que demostrï qualitat en estar fonamentada en recerca, ser subjecte de recerca i aportar a la recerca.**

**OE2. Analitzar iterativament la validesa, la utilitat i la confiabilitat d'una seqüència didàctica (SEA/DI) contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys) que faci evolucionar tant les idees d'estructura i de natura del model corpuscular de matèria del alumnat com les seves destreses pel disseny de preguntes científicament investigables.**

Per a l'assoliment del segon objectiu específic (OE2), i seguint el marc teòric i metodològic d'avaluació de la qualitat de SEA dissenyades en el paradigma IBD, ha estat necessari diferenciar-ne 3 estudis. Un primer estudi (Estudi 1) que posa el focus en l'anàlisi de la validesa i la utilitat de la SEA/DI dissenyada i, dos estudis més (Estudis 2 i 3) que posen el focus en l'anàlisi en la confiabilitat en termes de diferents aprenentatges conceptuals, i epistemic-procedimentals.

Concretament, a l'Estudi 2 s'analitza la confiabilitat en termes de l'aprenentatge del model corpuscular de matèria, i a l'Estudi 3 la confiabilitat en termes del desenvolupament de la habilitat de dissenyar preguntes científicament investigables.

A continuació es detallen els objectius i les preguntes de recerca concretes que han guiat cadascun dels estudis esmentats.

**OE2.1. Analitzar iterativament la validesa i la utilitat d'una seqüència didàctica (SEA/DI) contextualitza en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys) que faci evolucionar tant les idees d'estructura i de natura del model corpuscular de matèria del alumnat com les seves destreses pel disseny de preguntes científicament investigables.**

<b>ESTUDI 1:</b> AVALUACIÓ DE LA VALIDESA I UTILITAT	<b>P1.1.</b> Quina és la qualitat en termes de validesa d'una SEA/DI contextualitza en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys)?
	<b>P1.2.</b> Quina és la qualitat en termes d'utilitat d'una SEA/DI contextualitza en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys)?

**OE2.2. Analitzar iterativament la confiabilitat d'una seqüència didàctica (SEA/DI) contextualitza en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys) que faci evolucionar tant les idees d'estructura i de natura del model corpuscular de matèria del alumnat com les seves destreses pel disseny de preguntes científicament investigables.**

<b>ESTUDI 2:</b> AVALUACIÓ DE LA CONFIABILITAT EN TERMES DEL MODEL	<b>P.2.1.</b> Com evolucionen les idees d'estructura i natura de la matèria (aplicades als fenòmens d'aire net i l'aire contaminat) que representa l'alumnat de cicle superior de primària a l'inici i al final d'una SEA/DI? <b>P.2.2.</b> Quin seria un model científic apropiat per a l'alumnat de cicle superior de primària respecte a les idees d'estructura i natura de la matèria aplicades als fenòmens d'aire net i l'aire contaminat?
<b>ESTUDI 3:</b> AVALUACIÓ DE LA CONFIABILITAT EN TERMES DEL DISSENY DE PREGUNTES INVESTIGABLES	<b>P.3.1.</b> Com evoluciona la investigabilitat de les preguntes que dissenya l'alumnat de cicle superior de primària per investigar el fenomen de l'aire contaminat a la seva escola amb l'ús de diferents estratègies didàctiques? <b>P.3.2.</b> Quina és la progressió d'aprenentatge empírica de l'alumnat de cicle superior de primària per a la habilitat de dissenyar preguntes científiques investigables?

## 3.2. ESTRUCTURA DE LA TESI

Tenint en compte els objectius plantejats i de forma coherent amb el marc teòric i metodològic per a l'avaluació de la qualitat de les SEAs/DI des de la perspectiva de la investigació basada en el disseny (IBD) presentat a la secció anterior (secció 2, [enllaç](#)), en aquesta tesi s'avalua i millora iterativament el disseny d'una SEA/DI contextualitzada en el fenomen de la contaminació atmosfèrica fent un exercici de posada en pràctica d'aquest marc (article 0 d'aquesta tesi doctoral, [enllaç](#)). De manera coherent amb el marc anterior, la qualitat s'ha analitzat en termes de les tres dimensions identificades (la validesa, la utilitat i la confiabilitat) i avaluant els dos o tres criteris associats a cadascuna d'aquestes (coherència interna i coherència teòrica per la validesa; practicitat i productivitat per la utilitat i eficàcia nivell 1, nivell 2 i nivell 3 per a la confiabilitat).

Així, tal com s'observa a la Figura 4, a la secció 4 d'aquesta tesi doctoral ([enllaç](#)), es descriu el procés iteratiu de planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament dels diferents prototips de SEA/DI dissenyats al llarg del procés. A la secció 5 ([enllaç](#)), s'aprofundeix especialment en dos dels processos anteriors: l'avaluació dels diversos criteris de qualitat aplicats a cadascun dels prototips dissenyats i el redisseny/refinament derivat de l'avaluació anterior.

Per aquesta avaluació de cadascuna de les dimensions i criteris de qualitat (secció 5) s'ha tingut en compte el que diferents autors han identificat com jerarquia lògica (Nieveen & Folmer, 2013; Plomp, 2013; Romero-Ariza, 2014). En aquest sentit, Plomp (2013) argumenta, per exemple, que no té sentit avaluar com d'útil és per a l'aula una SEA/DI si aquesta no demostra abans que els objectius i activitats són coherents i que es basa en les idees didàctiques, pedagògiques i científiques existents, és a dir, sinó s'ha avaluat la seva validesa. També argumenta que no serveix de res avaluar la confiabilitat d'una SEA/DI si abans aquesta no ha demostrat certa utilitat per al seu ús a les aules.

Seguint aquesta idea, en aquesta tesi cadascuna de les etapes del procés IBD i dels prototips de SEA/DI dissenyats ha posat un especial focus en l'avaluació d'alguna de les dimensions. Així, a la figura següent (Figura 4) es pot observar com s'ha concretat en aquesta recerca l'avaluació de les diferents dimensions de qualitat i criteris d'avaluació en relació amb les diferents fases del procés de planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament de la SEA/DI propi del IBD i en el context dels diferents prototips millorats progressivament. Concretament, tal com s'observa a la Figura 4, la validesa de la proposta s'ha analitzat majoritàriament al final de la fase 1 (recerca preliminar) i inici de la fase 2 (desenvolupament iteratiu i pilotatge) lligada al prototip 1; la utilitat s'ha avaluat sobretot durant la fase 2 lligada als prototips 2 i 3; i la confiabilitat s'ha avaluat especialment al final de la fase 2 i durant la fase 3 (anàlisi retrospectiu) lligada als prototips 2 i 3.

Tot i que cadascuna de les dimensions i criteris ha estat focus principal d'avaluació en un moment concret del disseny i per un prototip de SEA/DI específic, totes elles s'han tingut en compte al llarg de tot el procés. Aquest fet respon tant a la necessitat que els canvis de la SEA/DI derivats de l'avaluació dels diferents criteris no afectin a la resta de criteris prèviament avaluats, com a la de tenir en compte noves recerques i aspectes que van apareixent al llarg del procés. En aquest sentit, per exemple, tot i que l'avaluació de la validesa en termes de coherència teòrica sobretot s'ha avaluat entre les fases 1 i 2 i en relació al prototip 2, aquest criteri s'ha tingut en compte en la resta de prototips i avaluacions ja que s'han seguit incorporant i matisant

alguns aspectes subratllats a les noves publicacions sobre la temàtica (p.ex. la polisèmia de la paraula partícula i la necessitat d'identificar quan parlem de partícules a escala mesoscòpica com la pols i quan de partícules submicroscòpiques com l'O<sub>2</sub> publicades a Solé et al. 2020).

La descripció detallada de l'avaluació de les diferents dimensions i criteris així com de la presa de decisions derivada s'ha dividit en 3 estudis que formen part de la secció 5 d'aquesta tesi ([enllaç](#)). Específicament, tal com es representa a la Figura 4, a l'estudi 1 ([enllaç](#)) es descriu l'avaluació profunda però no sistemàtica de la qualitat en termes de validesa i utilitat que s'ha realitzat. En aquest estudi s'apunten doncs, els instruments i estratègies de recollida de dades principals, la tipologia d'anàlisis realitzada, els principals resultats obtinguts i les implicacions i/o modificacions més importants que s'han derivat de l'avaluació de la coherència interna, coherència teòrica, practicitat i productivitat de a SEA/DI.

En canvi, en l'anàlisi de la qualitat de la SEA/DI en termes de confiabilitat s'aprofundeix als estudis 2 i 3 d'aquesta tesi. En aquest cas s'ha optat per una avaluació molt més sistemàtica i profunda buscant que els resultats obtinguts permetin fer aportacions als principis i eines de disseny. És per aquest motiu que en l'anàlisi d'aquesta dimensió s'han diferenciat dos estudis: un estudi 2 ([enllaç](#)) centrat en l'anàlisi de l'evolució de les idees dels estudiants del cicle superior de primària respecte el model corpuscular de matèria aplicades als fenòmens de l'aire net i l'aire contaminat; i un estudi 3 ([enllaç](#)) on s'avalua la millora de la habilitat científica de dissenyar preguntes científicament investigables.



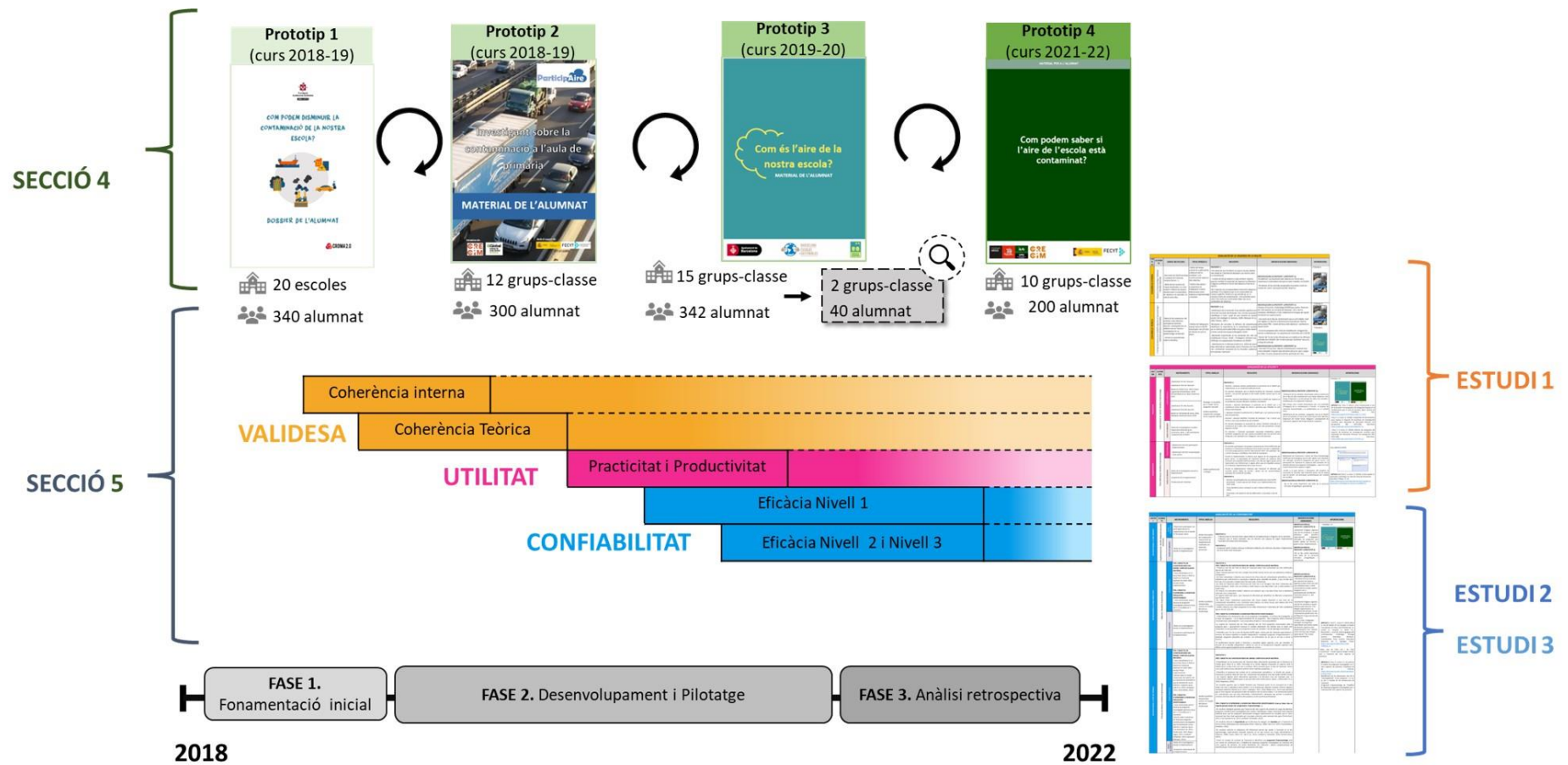


Figura 4. Esquema de les seccions i dels estudis que conformen la tesi doctoral.



# SECCIÓ

4

**PROCÉS DE PLANIFICACIÓ,  
DISSENY, IMPLEMENTACIÓ I  
REDISSENY/REFINAMENT  
D'UNA SEQÜÈNCIA  
D'ENSENYAMENT I  
APRENTATGE DES DE LA  
PERSPECTIVA IBD**



# 4

## PROCÉS DE PLANIFICACIÓ, DISSENY, IMPLEMENTACIÓ I REDISSENY/REFINAMENT D'UNA SEQÜÈNCIA D'ENSENYAMENT I APRENTATGE DES DE LA PERSPECTIVA IBD

### 4.1. PRESENTACIÓ DE LA SECCIÓ 4

La secció 4 d'aquesta tesi doctoral està enfocada a presentar la planificació, el disseny, implementació i redisseny/refinament d'una seqüència d'ensenyament i aprenentatge (SEA/DI) contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica que busca fer evolucionar les idees de matèria i les habilitats indagadores de l'alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys) i obtenir aportacions per a la recerca. Aquest objectiu s'emmarca dins del paradigma de Investigació Basada en el Disseny (IBD per les sigles en castellà/català i DBR per la seves sigles en anglès) i té en compte la proposta de marc d'avaluació de la qualitat de les SEA/DI proposat com a part del marc metodològic general d'aquesta tesi a l'article 0 ([enllaç](#)) i en el que s'aprofundeix a la següent secció (secció 5 -[enllaç](#)-).

Concretament l'objectiu que guia la secció 4 és el següent:

- OE1.** Identificar els principis, eines de disseny, objectius didàctics, materials educatius i eines didàctiques clau pel disseny d'una seqüència didàctica contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica per a alumant de cicle superior de primària (10-12 anys) que demostrí qualitat en estar fonamentada en recerca, ser subjecte de recerca i aportar a la recerca.

Tal com s'observa a la Figura 5, en aquesta secció 4 descrivim com s'ha concretat a la nostra recerca la planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament de quatre prototips cronològicament successius de la SEA/DI tot seguint les fases típiques d'una recerca IBD (fonamentació inicial, desenvolupament i implementació de la SEA/DI i anàlisis retrospectiu). A més a més, s'identifiquen quins són els principis i eines de disseny clau de la SEA/DI dissenyada, les característiques dels contextos de planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament de cadascun dels prototips així com alguns aspectes clau de la anàlisi retrospectiva realitzada.

És important destacar que tot i que forma part del procés, i diversos aspectes que es descriuen en aquesta secció estan relacionats amb l'avaluació de la qualitat de la SEA/DI, en aquesta secció 4 no s'aprofundeix en aquest procés d'avaluació ja que aquest està descrit en profunditat a la secció 5 d'aquest document ([enllaç](#)).

Com a productes principals de la secció 4 s'han publicat dos articles:

- **ARTICLE 1.1.** Tena, È. (2021). ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización en el aula de primaria. *Ápice. Revista de educación científica* <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7613>

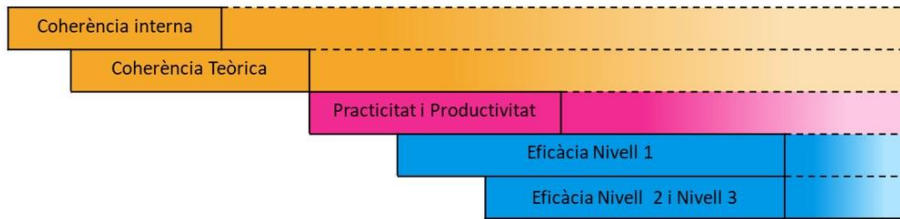
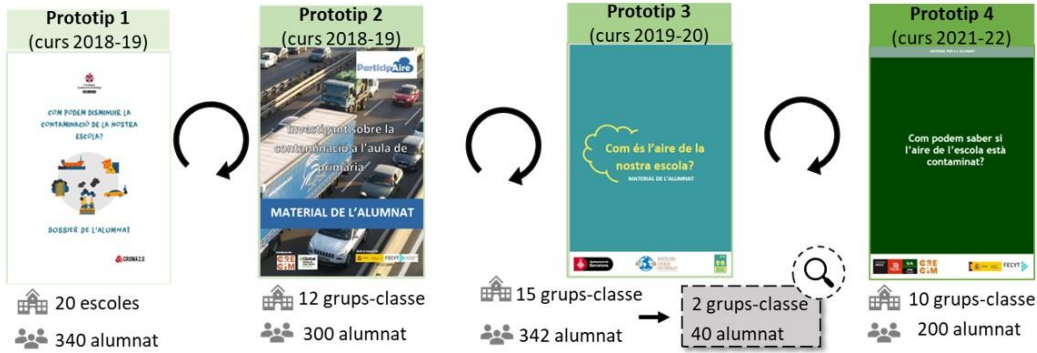
En aquest article publicat a la revista APICE. Revista de educación científica, es detalla un dels prototips dissenyats (el prototip 3: microxarxa, implementat durant els cursos 2019-20) tot aprofundint en els principis de disseny, part del material educatiu i algunes de les produccions, idees i respostes més habituals de l'alumnat a les diferents activitats plantejades.
- **ARTICLE 1.2.** Tena, È. y Couso. D. (2020). Com es pot ajudar a l'alumnat a investigar en ciències? *Guix. Elements d'acció educativa*, 471 pp. 15-20. <https://cat-grao-com.ure.uab.cat/ca/producte/com-es-pot-ajudar-lalumnat-a-investigar-en-ciencies-gu47199373> <https://www.grao.com/es/producto/como-ayudar-al-alumnado-a-investigar-en-ciencias-au29899373>

Aquesta publicació forma part de la revista d'innovació educativa Guix i versa sobre la principal eina didàctica dissenyada a la SEA/DI: la plantilla d'andamiatge PaPER. Aquesta eina didàctica té com a objectiu ajudar a l'alumnat del cicle superior de primària en el procés de dissenyar investigacions genuïnes semiobertes a l'aula. A l'article, a banda de publicar la pròpia eina, s'expliquen els principis de disseny en que es basa aquesta i es posa un exemple del seu ús a l'aula ([enllaç](#) a la versió en castellà a la revista Aula de Innovación,298, 15-20).

# SECCIÓ 4

**OE1**

Identificar els principis, eines de disseny, objectius didàctics, materials educatius i eines didàctiques clau pel disseny d'una seqüència didàctica contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica per a alumnat de cycle superior de primària (10-12 anys) que demostri qualitat en estar fonamentada en recerca, ser subjecte de recerca i aportar a la recerca



2018

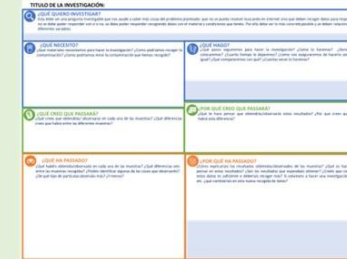
2022

## PRODUCTES



**ARTICLE 1.1.** Tena, È. (2021). ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primaria. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(2).

<https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7613>



**ARTICLE 1.2.** Tena,È. i Couso, D. (2020) Com es pot ajuda a l'alumnat a investigar en ciències? Guix. *Elements d'acció educativa*, 471 pp. 15-20. <https://cat-grao-com.ure.uab.cat/ca/producte/com-es-pot-ajudar-lalumnat-a-investigar-en-ciencies-gu47199373>

Figura 5. Esquema de l'objectiu, contingut i productes resultants de la secció 4 d'aquesta tesi relacionada amb l planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament d'una SEA/DI

## **4.2. PROCÉS DE PLANIFICACIÓ, DISSENY, IMPLEMENTACIÓ I REDISSENY/ REFINAMENT D'UNA SEQÜÈNCIA D'ENSENYAMENT I APRENTATGE PER ALUMNAT DEL CICLE SUPERIOR DE PRIMÀRIA SOBRE EL FENOMEN DE LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA DES DE LA PERSPECTIVA IBD**

### **4.2.1. DESCRIPCIÓ DE LES FASES I CONTEXTOS DE DISSENY I IMPLEMENTACIÓ DE LA SEA**

---

Partint del paradigma de investigació basada en el disseny (IBD) presentat al marc teòric d'aquesta tesi ([enllaç](#)) s'ha planificat, dissenyat, implementat, avaluat i redissenyat/refinat iterativament en base a criteris de qualitat de validesa, utilitat i fiabilitat una SEA/DI per a alumnat del cicle superior de primària contextualitzada en el fenomen de la contaminació atmosfèrica i, concretament, la contaminació causada per la matèria particulada (PM) que es troba en suspensió a l'aire.

En aquest procés s'han seguit les tres fases habituals dels dissenys i recerques dins del paradigma IBD (Blessing & Chakrabarti, 2009; Cobo-Huesa et al., 2021; Plomp & Nieveen, 2013; van den Akker, 1999): una primer fase de fonamentació inicial, una fase de desenvolupament iteratiu i implementació de la SEA/DI i una anàlisi retrospectiva del procés.

A continuació, es descriuen cadascuna de les fases seguides concretament en aquesta recerca i es posen alguns exemples dels productes resultants associats.

#### **4.2.1.1. Fase 1. Fonamentació inicial**

---

D'acord amb les propostes de diversos autors (Cobo-Huesa et al., 2021; McKenney, 2001; Plomp, 2013; Reeves, 2006; Romero-Ariza, 2014) l'objectiu de la fonamentació inicial (fase 1 també coneguda com a recerca preliminar) és identificar els principis i eines de disseny que posteriorment guiaran la SEA/DI i que seran validats i/o refinats en les posteriors fases del procés.

Per a això, s'ha seguit un procés de reconstrucció didàctica (Duit, 2007) en el que s'han tingut en compte tant els coneixements de la ciència professional com les potencialitats i dificultats subratllades per les recerques en didàctica de les ciències. Així, en una primera fase d'aquesta recerca s'ha revisat literatura científica especialitzada en la temàtica de la contaminació atmosfèrica, documentació de comunicació i divulgació científica sobre aquesta temàtica i s'ha comptat amb el suport d'investigadors/es en epidemiologia ambiental experts en contaminació atmosfèrica. A més a més, també s'ha fet una revisió no sistemàtica tant d'articles de didàctica de les ciències com de material educatiu publicat sobre el model corpuscular de la matèria amb un especial interès per aquelles publicacions que aprofundien en les idees de matèria gas, d'aire i de contaminació (p. ex. Boyes & Stanisstreet, 1998; Driver et al., 1994; Iliopoulou, 2016; Meijer, 2011; Merino & Sanmartí, 2008; Pruneau et al., 2005; Séré, 1986...).



Les accions anteriors ens han permès concretar i operativitzar algunes teories i/o marcs científics, pedagògics i didàctics de referència a dos nivells. Un primer nivell encara prou general però amb certa concreció ja en marcs i idees clau de la didàctica de les ciències que hem anomenat els principis de disseny; i un segon nivell, de major concreció i operativització dels principis de disseny anteriors en protocols, cicles i altres productes didàctics útils per al disseny de la SEA/DI, que hem identificat com a eines de disseny.

A la Taula 2 que es troba a continuació (inspirada en Jiménez-Liso, 2022 i Castillo-Hernández, 2022), s'han recollit els principis i eines del disseny de la nostra SEA/DI. En ella s'inclouen enllaços a l'annex on es troben exemples específics de l'aplicació d'aquestes eines al context de la contaminació atmosfèrica, focus principal de la nostra proposta de SEA/DI.

Tot i que a la Taula 2 es reproduïxen els principis i eines utilitzades finalment, tal com s'explica a la secció 5 d'aquesta tesi doctoral on s'aprofundeix en l'avaluació de la qualitat de la SEA/DI dissenyada ([enllaç](#)), aquests s'han anat modificant en els diversos prototips gràcies als resultats obtinguts de l'avaluació en termes de validesa (coherència teòrica) i de confiabilitat (eficàcia nivell 3). Un exemple de com l'avaluació ha anat modificant i matisant els principis i les eines de disseny utilitzades el trobem al llistat d'idees prèvies de l'alumnat. En un inici la taula resum no incorporava aspectes relacionats amb la dificultat de l'alumnat per pensar i interpretar el fenomen de la contaminació a diferents escales, aspecte que es va incorporar després de la publicació de Solé et al., 2020 respecte alumnat de secundària i la identificació d'aquesta mateixa dificultat en les produccions de l'alumnat del cicle superior de primària participant.

Un cop definits els principis i les eines de disseny, al final d'aquesta fase de fonamentació inicial s'ha concretat un primer prototip teòric (prototip 1) en què s'han definit una primera versió dels objectius d'aprenentatge, allò que s'espera que l'alumnat aprengui i que és explícit (p.ex. identificar i dissenyar possibles solucions al problema de la contaminació de l'aire al nostre context); i objectius didàctics, és a dir, allò que el docent ha de perseguir i tenir en compte en la planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament però que no sempre és explícit per l'alumnat (p.ex. Tenir en compte la diversitat en quant a gènere, nivell socioeconòmic i ètnia de les persones que s'identifiquen com a científics per tal que aquestes puguin tenir un impacte positiu en la imatge que l'alumnat té d'aquest col·lectiu); i també del material didàctic, és a dir, del conjunt d'activitats, tasques, bastides i experiències que es proposaran a l'alumnat per assolir els objectius.

**Taula 2.** Resum dels principis de disseny i les eines de disseny principals i exemples concrets del seu ús pel disseny de la SEA/DI sobre contaminació atmosfèrica per alumnat 5è i 6è de primària.

	APROXIMACIÓ DIDÀCTICA GENERAL		APROXIMACIÓ DIDÀCTICA AL CONTINGUT			ESTRATÈGIES CONCRETES D'AULA	
<b>Principis de disseny</b>	Context-Based Learning. Es necessari contextualitzar i problematitzar la SEA/DI ( <i>Jiménez-Liso &amp; de Manuel Torres, 2009a; Lijnse, 2005</i> ) i que el context de la SEA/DI sigui científicament, socialment i personalment rellevant ( <i>Evagorou, et al 2012; Pérez-Torres et al., 2021</i> )	Pràctiques científiques com a marc teòric ( <i>Crujeiras y Jiménez-Aleixandre, 2012; NRC, 2012; Osborne, 2014</i> ) i indagació basada en la modelització com a concreció d'aquestes a l'aula ( <i>Windschitl et al., 2008; Couso, 2014; Couso et al., 2020</i> ).	Construcció iterativa i en progressió de poques però molt rellevants idees de ciència escolar ( <i>Harlen, 2010; NRC, 2012; Couso, 2020; Izquierdo, 2014; Victoria, 2019</i> )	Desenvolupament progressiu de les habilitats relacionades amb la competència de fer recerca ( <i>Schwarz et al. 2009; García González y Furman, 2014; Lombard y Schneider, 2013; Sanmartí y Márquez, 2012</i> )	Idees dels estudiants enteses com a punt de partida per a la construcció de noves idees, més sofisticades i properes a les del model científic escolar esperat no enteses com una errada ( <i>Driver et al., 1994; Thornber et al., 1999</i> )	Importància de la bastida docent en el procés de modelització i també del desenvolupament de les habilitat d'indagació de l'alumnat ( <i>Chin y Osborne, 2008; Couso, 2014; Furtak et al., 2012; Romero-Ariza, 2017; Garrido-Espaja, 2016</i> )	Importància que l'alumnat tingui accés a diversitat de referents professionals de l'àmbit STEM amb missatges no estereotipats que possibilitin un posicionament STEM positiu o no negatiu de partida ( <i>Grimalt-Álvaro &amp; Couso, 2022</i> ).
<b>Eines de disseny</b>	Taula amb les idees i/o reptes més rellevants sobre el fenomen (contingut, tema, idees...) que es vol treballar tot destacant la seva rellevància social i científica.	Cicles de modelització ( <i>Couso, 2020 basat en Couso i Garrido-Espeja, 2017 i Garrido, 2016</i> ) i cicle d'indagació ( <i>Jiménez-Liso, 2020</i> )	Progressions d'aprenentatge - Pathway or landscapes- ( <i>Vergara eta al. 2021; Zabel i Gropengiesser, 2011</i> ) amb les idees clau del model que es vol treballar	Rúbriques i progressions de l'habilitat de dissenyar investigacions publicades en recerques prèvies ( <i>Domènech Casal, 2019; Ferrés-Gurt, 2017b</i> )	Taula resum amb les idees alternatives sobre l'aire i la contaminació atmosfèrica més comuns que ha subratllat la literatura en relació a la construcció del model corpuscular de la matèria gas i, especialment, l'aire net i contaminat.	Identificació de les característiques principals de les eines de bastida docent relacionades tant en els processos de modelització com en el desenvolupament de les habilitats ( <i>Zacharia et al. 2015; Ferrés-Gurt, 2015</i> )	Eina del projecte STEAM4U per identificar les estratègies que ens poden ajudar a millorar el posicionament STEM de l'alumnat ( <i>Grimalt-Álvaro i Couso, 2019</i> )
<b>Exemple de la nostra SEA/DI</b>	Introducció del vídeo de presentació de la SEA/DI a l'alumnat on s'introdueix la idea que la contaminació de l'aire és una de les problemàtiques més importants a les grans ciutats ( <i>Basagaña, 2018</i> ). Identificació als materials dels docents aquest com un tema clau en la promoció de l'alfabetització científica per a una ciutadania responsable ( <i>OCDE, 2020</i> ). Detalls al vídeo ( <a href="#">enllaç</a> )	Cicle de Modelització i indagació per a la seqüenciació de les activitats. Detalls a l'annex 3.3. ( <a href="#">enllaç</a> )	Idea clau del prototip 3. Les PM són partícules solides en suspensió com per exemple la pols o el sutge, que no sempre es poden veure a simple vista; però sí que es poden veure utilitzant alguns instruments (p.ex. una lupa digital). Al contrari que les partícules submicroscòpiques com els àtoms o les molècules que dormen l'aire (p. ex. el CO2) que no poden ser vistes amb lupes. Detalls a l'annex 3.1. ( <a href="#">enllaç</a> )	Exemples de propostes de preguntes per ajudar a l'alumnat a anar millorant progressivament les seves preguntes investigables, planificacions de la recerca... Aquestes formen part del material docent del prototip 3 ( <a href="#">enllaç</a> , p. 23, 25 i 27) i de l'eina de bastida PaPER ( <i>Tena i Couso, 2020</i> ) ( <a href="#">enllaç</a> )	Idea alternativa sobre la contaminació: Els alumnes confonen altres problemes mediambientals globals com: l'efecte hivernacle o el forat de la capa d'ozó, amb la problemàtica local de contaminació atmosfèrica. ( <i>Thornber et al., 1999</i> ). Detalls a l'annex 3.2. ( <a href="#">enllaç</a> )	Eina didàctica de bastida PaPER ( <i>Tena i Couso, 2020</i> ) ( <a href="#">enllaç</a> )-	Les persones que es dediquen a la ciència professional i que apareixen al vídeo inicial presentant el repte als estudiants son un home i una dona, fan referència als seus hobbies més enllà de la ciència, porten una vestimenta que habitualment no s'associa al estereotip de ciència (p.ex. portant vestit, maquillatge...). Detalls al vídeo ( <a href="#">enllaç</a> )

#### 4.2.1.2. Fase 2. Desenvolupament i implementació de la SEA

Partint del primer prototip de SEA/DI dissenyat al final de la fase anterior (prototip 1), a la segona fase anomenada desenvolupament i implementació, s'han dut a terme tres cicles iteratius de disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament de la SEA/DI. Cadascun d'ells s'han identificat com a: prototip 1, prototip 2 i prototip 3. A més a més, com a resultat d'aquest desenvolupament iteratiu (fase 2) i de l'avaluació més profunda i retrospectiva feta a la fase 3 ([enllaç](#)) s'ha obtingut la SEA/DI final que ha estat identificada com a prototip 4 ([enllaç](#)).




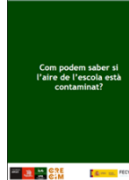
Els prototips 1-3 s'han dut a terme de manera cronològica i seqüencial entre els cursos escolars 2018-19 i 2019-20. Després d'un any sense activitat a causa de les restriccions escolars imposades per la pandèmia de la COVID-19, la implementació del prototip 4 (SEA/DI final) s'ha reprès en el curs 2021-22. Les característiques principals en relació als participants, activitats i entitat financeradora involucrades en cadascun dels prototips s'han recollit a la Taula 3.



*Figura 6. Imatges de diferents grups de nens i nenes durant la implementació de les diverses versions del material.*

D'acord amb la voluntat de transferència i transformació d'aquesta recerca, tots els prototips de la SEA/DI complerts (activitats de l'alumnat, guia docent i documents extres) s'han publicat en obert a mesura que aquests han estat dissenyats i implementats fent-los així accessibles per a tothom qui estigués interessat. Actualment, encara es poden consultar cadascun dels prototips en els diferents enllaços permanents que apareixen a la Taula 3.

**Taula 3.** Resum de les característiques principals dels prototips 1-4 de SEA/DI dissenyats, implementats i avaluats dins d'aquesta recerca. La taula inclou el nom del projecte, l'entitat finançadora, el nombre aproximat de participants, les característiques principals de les activitats proposades i un enllaç al material de l'alumnat, guia docent i material extra resultants.

	Nom del projecte	Curs	Entitat Finançadora	Participants	Temps estimat de realització i blocs	Productes Resultants
<b>Prototip 1</b>	Projecte Croma 2.0	2018-19	UAB a través de la Fundació Autònoma Solidària (FAS)	Aproximadament 340 alumnes de 20 escoles amb alumnat i famílies vulnerables	Projecte de 6h dividit en 7 blocs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentació de la problemàtica</li> <li>• Aire net</li> <li>• Aire contaminat</li> <li>• Investigació de l'aire de l'escola</li> <li>• Relació distància-contaminació</li> <li>• Barreres del cos</li> <li>• Cerca i comunicació de solucions</li> </ul>	 <a href="#">Accés al material del prototip 1</a>
<b>Prototip 2</b>	Projecte ParticipAire	2018-19	FECYT	Aproximadament 300 alumnes de 12 grups-classe de perfil divers	Projecte de 12h dividit en 6 blocs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentació i idees inicials de l'aire i la contaminació</li> <li>• Fonts de contaminació</li> <li>• Aire contaminat</li> <li>• Relació distància-contaminació</li> <li>• Investigació de l'aire de l'escola</li> <li>• Cerca i comunicació de solucions</li> </ul>	 <a href="#">Accés al material del prototip 2</a>
<b>Prototip 3</b>	Microxarxa escola respira	2019-20	Ajuntament de Barcelona a través del programa Escoles Sostenibles	Van iniciar la implementació 342 alumnes de 15 grups-classe de perfil divers. Seguiment intensiu de 2 escoles de perfil divers	Projecte de 12h dividit en 6 blocs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentació i idees inicials de l'aire i la contaminació</li> <li>• Fonts de contaminació</li> <li>• Aire contaminat i maneres de mesurar la contaminació</li> <li>• Investigació de l'aire de l'escola</li> <li>• Efectes en la salut</li> <li>• Cerca i comunicació de solucions</li> </ul>	 <a href="#">Accés al material del prototip 3</a>
<b>Prototip 4</b>	Projecte volem ser científiques i enginyeres	2021-22	FECYT a través del ICE-UAB)	Aproximadament 200 alumnes de 5 d'escoles de perfil divers	Projecte de 12h dividit en 7 blocs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentació i idees inicials de la contaminació</li> <li>• Aire net</li> <li>• Fonts de contaminació</li> <li>• Aire contaminat i maneres de mesurar la contaminació</li> <li>• Investigació de l'aire de l'escola</li> <li>• Efectes en la salut</li> <li>• Cerca i comunicació de solucions</li> </ul>	 <a href="#">Accés al material del prototip 4</a>

Així, en aquesta segona fase, per a cadascun dels prototips de la SEA/DI s'ha fet un disseny que s'ha implementat en diverses aules i avaluat parcialment al final de la seva implementació. Cadascuna d'aquestes avaluacions parcials centrades en els diversos criteris d'avaluació aplicats de forma jeràrquica (coherència interna, coherència teòrica, practicitat, productivitat, eficàcia nivell 1, eficàcia nivell 2 i eficàcia nivell 3) ha permès identificar els aspectes positius i a millorar dels diferents prototips. Així, tal com expliquem amb més profunditat en l'apartat d'avaluació de la qualitat a la secció 5 ([enllaç](#)), els resultats obtinguts han estat clau a l'hora de fer canvis concrets en els dissenys que milloressin progressivament la qualitat dels prototips.

Un exemple d'aquest procés de desenvolupament, implementació i refinament el trobem a l'observar l'eina didàctica de bastida anomenada PaPER en els diferents prototips. Tal com es pot veure a la Figura 7, l'avaluació del criteri de validesa en termes de la coherència teòrica (és a dir, fins a quin punt la SEA/DI es basa en els principis de disseny i el coneixement didàctic, pedagògic i científic rellevant) entre el prototip 1 i 2 ha posat de manifest la necessitat d'incloure una major bastida cognitiva (De Joolingen & Zacharia, 2009) que ajudi a l'alumnat a identificar i estructurar els diferents apartats del procés de disseny d'una recerca. Més endavant, entre el prototip 2 i 3, en analitzar la utilitat en termes de la productivitat de l'eina (és a dir, fins a quin punt el disseny de la SEA/DI inclou eines didàctiques que es consideren profitoses i aplicable en altres contextos educatius en termes dels resultats d'aprenentatge) s'ha observat que la bastida proposada dins de cada una de les fases de PaPER (p. ex. preguntes com: què/qui produirà la mostra?, amb què recollirà la mostra?... dins de l'apartat què faig?) per alguns grups d'alumnes eren útils, mentre que per altres afegia dificultat perquè la bastida no s'adequava a les seves necessitats (p.ex. perquè les preguntes estaven massa allunyades del seu procés de pensament en el moment). La identificació d'aquestes dificultats s'ha traduït en canvis en l'eina de bastida en el prototip 3 tal com es pot veure a la Figura 7. En aquesta nova proposta, seguint les idees de la literatura sobre la necessitat d'acompanyar el procés, les preguntes que guien l'acció segueixen estant presents i a l'abast d'aquells grups que les necessiten, però es presenten a la part superior i no a "l'espai de resposta" disminuint la idea que aquestes són prescriptives o s'han de respondre una a una d'acord amb les necessitats observades durant la seva implementació a l'aula.

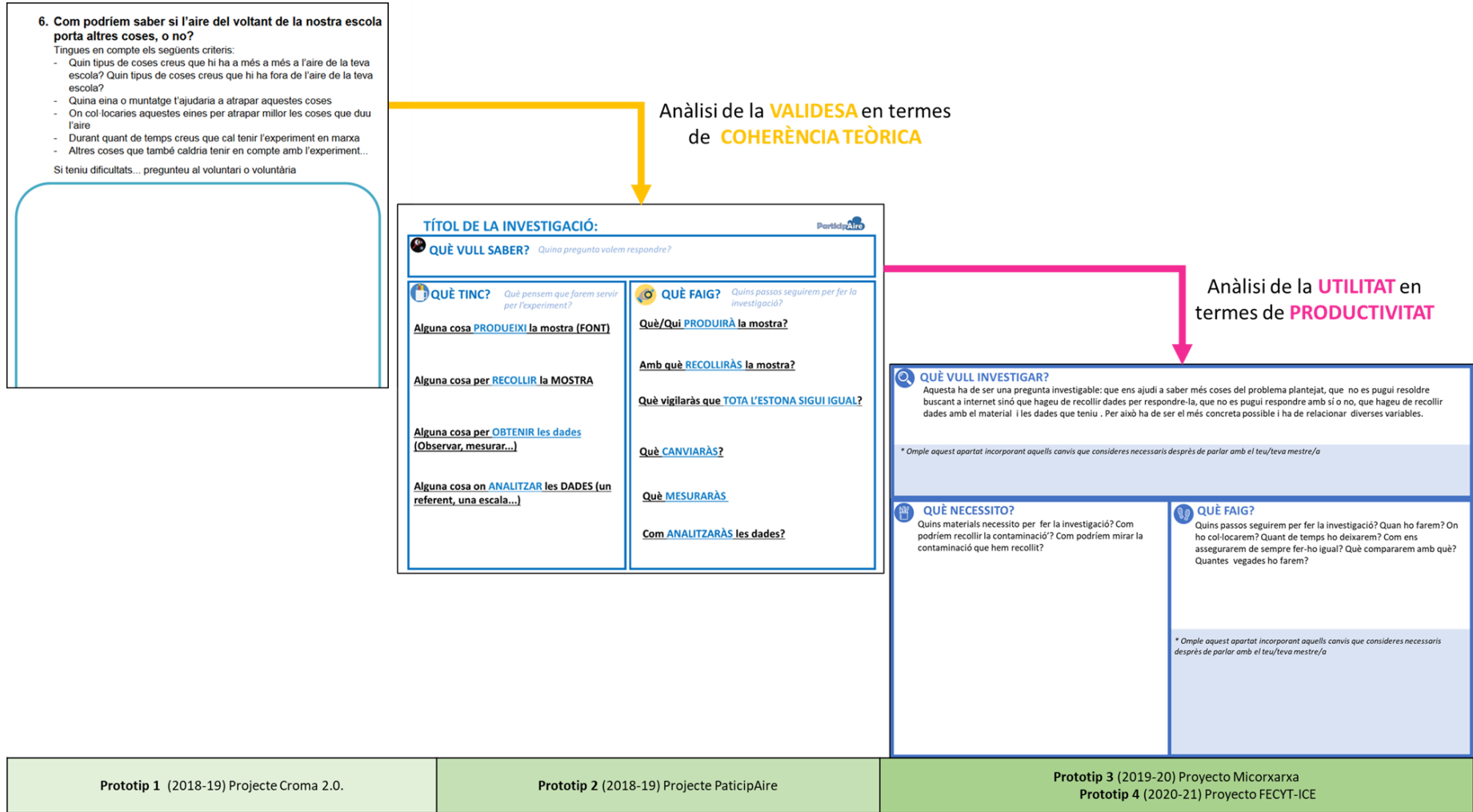


Figura 7. Exemple d'evolució de l'eina de bastida PaPER en tres prototips de la SEA/DI lligada a l'avaluació de diferents dimensions (validesa i utilitat) de la qualitat els criteris que les conformen (coherència teòrica i productivitat respectivament)



#### 4.2.1.3. Fase 3. Anàlisi retrospectiva

---

La fase 3 d'una investigació basada en el disseny o IBD és coneguda com la d'anàlisi retrospectiva, avaluació final o avaluació semisumativa (Guisasola et al., 2021; Plomp & Nieveen, 2013; Romero-Ariza, 2014). D'acord amb els autors anteriors, aquesta fase té un doble objectiu: d'una banda, analitzar i reflexionar de manera sistemàtica sobre el procés de disseny iteratiu de la SEA/DI i especialment sobre el disseny definitiu per veure fins a quin punt es compleix amb els objectius i requisits pels que s'havia plantejat; i, d'altra banda, apuntar recomanacions teòriques i pràctiques que orientin el disseny de futures intervencions educatives.

De manera similar a Guisasola et al. (2021) i seguint el marc d'avaluació de la qualitat proposat en aquesta tesi ([enllaç](#)) que té en compte el principi de jerarquització dels criteris de qualitat, a la fase 3 d'aquesta recerca ens centrem en dues anàlisis. La primera està enfocada a l'anàlisi retrospectiva de l'avaluació de la qualitat en termes de validesa i utilitat que s'ha fet al llarg de la fase 2 del procés de disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament. Tant el procés com els resultats d'aquest anàlisi es descriu en profunditat a l'estudi 1 de la secció 5 d'aquesta tesi doctoral ([enllaç](#)). La segona anàlisi realitzada, enfocada a la anàlisi de la qualitat en termes de confiabilitat de la SEA/DI, lligada als aprenentatges de l'alumnat sobre el model corpuscular de la matèria i al desenvolupament de les seves habilitats d'indagació al llarg de la SEA/DI, és el focus principal dels estudis 2 ([enllaç](#)) i 3 ([enllaç](#)) que també formen part de la secció 5 d'aquesta recerca.

A mode de resum d'aquest procés, a la Figura 8 s'han recollit les principals fases de la investigació, les diferents accions realitzades i els prototips relacionats.

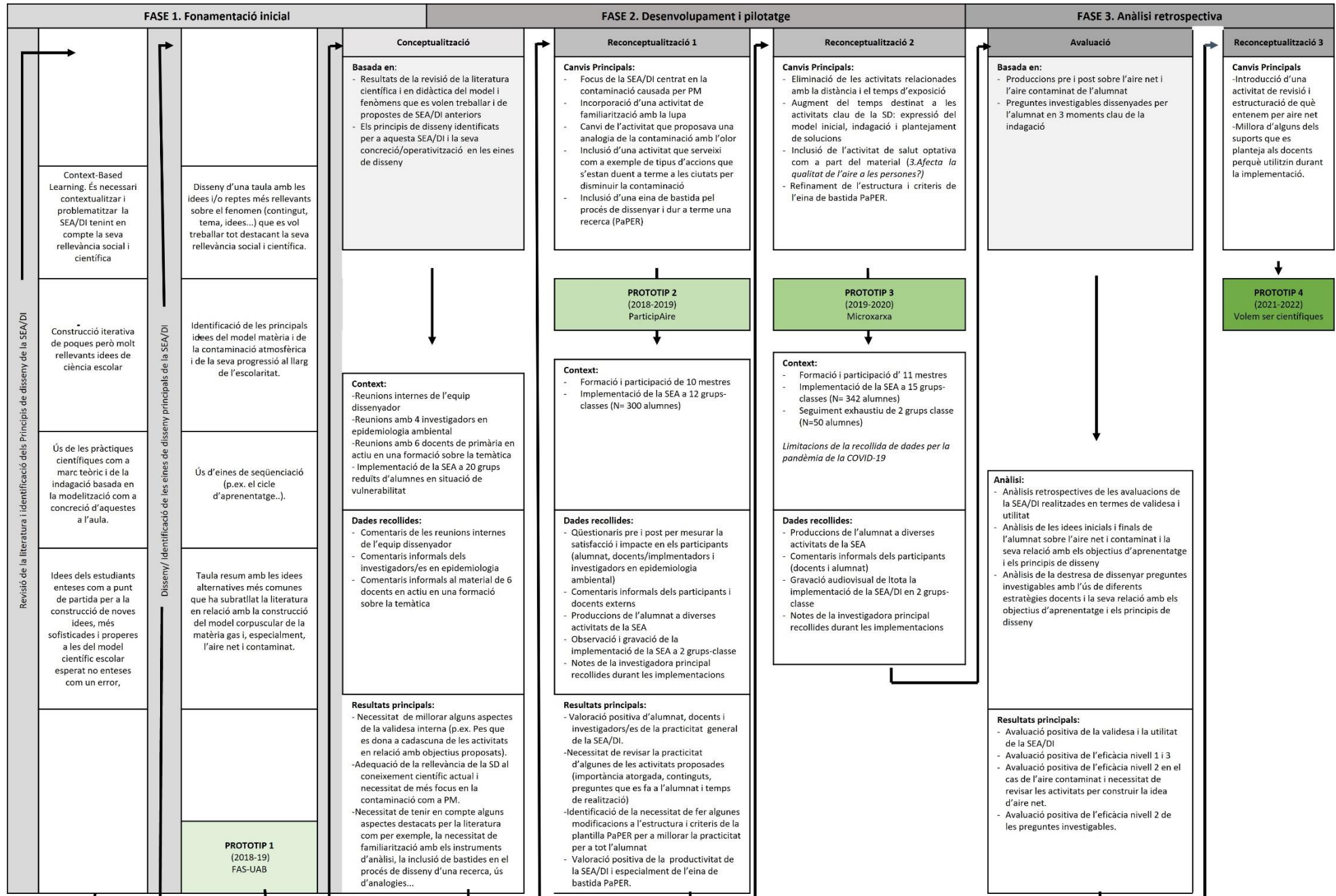


Figura 8. Resum de les diferents fases de la recerca realitzada i les accions i productes relacionades amb cadascuna d'elles.



### 4.3. PRODUCTES PRINCIPALS DEL DISSENY ITERATIU

---

Estem d'acord amb Guisasola et al. (2019) que les SEA/DI tenen un paper important en els resultats d'aprenentatge tot i no ser l'únic factor influent. Considerem doncs, que compartir amb els docents els productes d'un procés de planificació, disseny, avaluació, redisseny/refinament iteratiu com el que s'ha dut a terme i que ha implicat la participació i discussió amb diferents col·lectius (docents, investigadors/es en didàctica de les ciències...) pot servir d'inspiració pel disseny d'altres propostes o l'adaptació de les mateixes a nous contextos (Ogborn, 2002; Pintó, 2004; Couso 2016)

En aquest sentit, i seguint les idees tant dels autors anteriors com d'altres (Blanco et al., 2018; Guisasola et al., 2021; Guisasola & Oliva, 2020; Juuti et al., 2016), perquè això succeeixi és especialment important que les publicacions de propostes de SEA/DI no només presentin les activitats dissenyades sinó que s'aprofundeixi en la explicació detallada de la relació entre activitats i principis i eines de disseny que han guiat el seu disseny, de les decisions implícites i explícites que es prenen, entre altres.

Per aquest motiu com a productes principals d'aquest disseny iteratiu s'han fet dues publicacions que s'adjunten a continuació. La primera, l'article 1.1. "¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primaria" on es presenta el prototip 3 de la SEA/DI tot identificant-ne els principis i eines de disseny, les activitats principals de la proposta, algunes de les respostes habituals de l'alumnat i els suports docents rebuts. I una segona, a l'article 1.2. "¿Com ajudar a l'alumnat a investigar en ciències?" publicat a la revista Guix, on es descriu en detall l'eina didàctica de bastida PaPER resultant del disseny i implementació iterativa de la SEA/DI. En aquest segon article també s'identifiquen les recerques prèvies en les que es basa i es posa un exemple de la seva aplicació a l'aula.

La publicació tant del prototip 3 de SEA/DI com de l'eina didàctica de bastida PaPER en revistes de fàcil accés pels docents respon a la necessitat de garantir que aquest col·lectiu té accés a les publicacions de recerca i als seus resultats. D'acord amb Blanco et al. (2018) aquesta estratègia pot facilitar que s'estableixin ponts entre la investigació i pràctica educativa.

A continuació s'adjunten els dos articles esmentats.

## 4.3.1. Article 1.1. ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primària

---

Ápice. Revista de Educación Científica, 5 (2), 2021 DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7613>

Sección. Innovación en educación científica

ISSN: 2531-016X



### ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primaria

Èlia Tena

Dep. de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals y CRECIM.  
UAB. Barcelona. España

[Recibido el 5 de marzo de 2021, aceptado el 30 de junio de 2021]

Diseñar secuencias de enseñanza y aprendizaje (SEA) desde un paradigma STEM con valores y que involucren al alumnado en prácticas científicas auténticas es un reto para los docentes. Por ello, en el siguiente artículo se describen tanto los principios de diseño como las actividades clave de una SEA que parte de la problemática de la contaminación atmosférica diseñada siguiendo un proceso iterativo. La SEA ha permitido a alumnado de 5º y 6º curso de primaria: 1) construir ideas clave del modelo corpuscular de la materia escolar para esta edad partiendo de sus ideas, 2) involucrarse en una indagación genuina y 3) proponer soluciones justificadas para disminuir la contaminación alrededor de su escuela.

**Palabras clave:** STEM; indagación basada en la modelización; secuencia didáctica; contaminación; educación primaria

### Is our school air polluted? A model-based inquiry proposal for primary schools

Designing values-based STEM teaching and learning sequences (TLS) that engage pupils in real scientific practices is not an easy task for teachers. This paper describes the design principles and main activities of a model-based inquiry TLS for fifth- and sixth-class primary school pupils focused on the phenomena of pollution. The results of the TLS showed that the experience allowed pupils to: 1) formulate key ideas about the corpuscular theory of matter at primary school level, 2) participate in a real school-based inquiry, and 3) design reasoned solutions to pollution in their area.

**Keywords:** STEM; modelling-based inquiry; teaching and learning sequence; pollution; primary school education

Para citar este artículo. Tena, È. (2021). ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primaria. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(2), 87-97. DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7613>  
Contacto. [elia.tena@uab.cat](mailto:elia.tena@uab.cat)

Èlia Tena

---

## Introducció

Existe un número creciente y diverso de proyectos y propuestas para educación primaria que se enmarcan en un paradigma STEM (siglas en inglés de Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) (Couso, 2017). De acuerdo con esta autora, que propone un marco basado en la idea de participación en las practicas científico-tecnológicas y los valores para la educación STEM, estas propuestas deberían perseguir la alfabetización del alumnado en este ámbito. Es decir, el alumnado debería:

“Ser capaz de identificar y aplicar tanto los conocimientos clave de las disciplinas STEM, como las formas de hacer, pensar, hablar y sentir de la ciencia, la ingeniería y la matemática, de forma más o menos integrada, para comprender, decidir y/o actuar delante de problemas complejos y/o construir soluciones creativas e innovadoras que aprovechen las sinergias personales y las tecnologías disponibles de forma crítica, reflexiva y con valores” (Couso, 2017, p. 24).

De acuerdo con la definición, el diseño de secuencias didácticas (SEA) dentro del marco STEM debe: (1) permitir al alumnado construir conocimiento profundo para actuar sobre problemáticas relevantes científica y socialmente, (2) involucrarlos en actividades auténticas y genuinas de las disciplinas y (3) construir unas pocas, pero grandes ideas de ciencia, ingeniería y/o las matemáticas.

Las problemáticas relevantes científica y socialmente son aquellas cuestiones de solución compleja y conflictiva donde se ponen en juego criterios e ideas científicas, así como aspectos políticos, económicos... que tienen implicaciones morales (Evagorou et al., 2012). Por ejemplo, la contaminación atmosférica o la edición genética. Las investigaciones en este sentido subrayan que trabajar estas cuestiones en el aula tiene un gran potencial para el desarrollo de habilidades y destrezas científicas clave del alumnado, por ejemplo el análisis crítico o la toma de decisiones en base a pruebas (Evagorou et al., 2012); el fomento de la actuación en el entorno (Reis, 2014); y la mejora de sus ideas científicas (Solé et al., 2020).

Por otro lado, el enfoque de la práctica científica, reconocido tanto nacional como internacionalmente (Crujeiras y Jiménez-Aleixandre, 2012; NRC, 2012), enfatiza la necesidad de involucrar al alumnado desde infantil en maneras de hacer, pensar, hablar y sentir análogas a las de la ciencia (Izquierdo, 2014). Es decir, en los procesos de modelizar (construir, usar y evaluar modelos), indagar (recoger y analizar pruebas a partir de la observación y/o experimentación) y argumentar (evaluar pruebas y construir argumentos). Desde esta perspectiva, el reto es encontrar contextos relevantes social y científicamente que involucren al alumnado de forma auténtica y genuina en estas prácticas. Es decir, partiendo de un contexto o actividad problemático cuya resolución sea percibida como desconocida y pertinente para el alumnado (Izquierdo, 2017).

Además, en didáctica de las ciencias existe consenso sobre la necesidad de partir de las ideas previas del alumnado (Driver et al., 1994) para, a continuación, construir unas pocas pero muy relevantes ideas de y sobre ciencia (Harlen, 2010; NRC, 2012). Desde esta perspectiva, el diseño de las SEA debe fomentar la evolución de las ideas del alumnado, a partir de expresarlas, evaluarlas y revisarlas, de forma que se profundicen y complejicen para acercarse a las ideas de la ciencia escolar objeto de aprendizaje (Couso, 2020; Izquierdo, 2014).

Sin embargo, la concreción de estos tres aspectos en una SEA es un reto para los docentes (Couso, 2014) especialmente en la etapa de primaria. Por ello, este artículo busca transparentar y ejemplificar el proceso de toma de decisiones relacionadas con el diseño

e implementación de una SEA sobre un problema ambiental (la reducción de la contaminación del aire) que involucra a alumnado de 5º y 6º curso de primaria (10-12 años) en actividades de indagación y modelización. Además, se incluyen aspectos relevantes para su implementación en el aula (andamiaje y retroalimentación docente), así como ejemplos de las respuestas más comunes del alumnado.

### **Características principales de nuestra SEA**

El diseño de SEA construidas iterativamente a partir de la incorporación de resultados de investigación es considerada una actividad clave (Guisasola et al., 2021). Desde esta perspectiva, es esencial que las propuestas expliciten los principios de diseño que las rigen, por ello, detallamos seguidamente los que caracterizan nuestra SEA.

#### **La contaminación como problemática social científicamente relevante**

Una de las problemáticas medioambientales más importantes actualmente en las grandes ciudades con consecuencias para la salud de los humanos y alteraciones en los ciclos biogeoquímicos es la contaminación atmosférica (Basagaña, 2018). Por ello, en las últimas décadas ha aumentado la preocupación científica y social por esta problemática y la búsqueda de soluciones. Esto ha quedado recogido por diversas organizaciones como la UNESCO (2017), que lo incluye dentro del ODS 11; o la OCDE (2020) que lo ha identificado como temática especialmente relevante para la promoción de la alfabetización científica para la ciudadanía responsable.

Actualmente no existe un consenso sobre las soluciones a esta problemática. Algunas propuestas hechas hasta el momento (p.ej. disminuir el tráfico rodado o aumentar las zonas verdes) a menudo chocan con intereses y/o maneras de vivir tanto de los individuos (p.ej. dificultad para acceder a algunos lugares) como de algunas grandes industrias.

Así, la búsqueda de soluciones a esta problemática pasa por la alfabetización de la ciudadanía para su actuación informada sobre el problema (Reis, 2014). Para ello, es imprescindible que estos comprendan algunas de las ideas del modelo corpuscular de la materia (p.ej. la idea de partícula en la mesoescala) y también, que reflexionen en torno a los valores, actitudes y creencias sociales que hay tras esta problemática y sus posibles soluciones (Solé et al., 2020).

#### **La indagación basada en la modelización como práctica científica auténtica**

De acuerdo con Reis (2014) una estrategia privilegiada para incorporar las controversias socio-científicas en el aula es la indagación. Es decir, involucrar al alumnado en el planteamiento de preguntas investigables y la búsqueda de pruebas para responderlas. Sin embargo, tal como enfatiza el marco de la indagación basada en la modelización (IBM), estas prácticas deben ir acompañadas de la construcción de las ideas científicas escolares clave (Couso, 2014).

Concretamente, el marco IBM busca superar algunas visiones ingenuas de las prácticas de indagación y modelización involucrando al alumnado en la exploración de fenómenos para construir y/o reconstruir las propias ideas a la luz de los resultados y el análisis obtenidos de la indagación (Schwarz y Gwekwerere, 2007). Para ello, se plantea involucrar al alumnado en prácticas como: expresar hipótesis en base a los propios modelos, discutir diseños de búsqueda de evidencias, etc. (Windschitl et al., 2008).

Teniendo en cuenta este marco y las propuestas de ciclos de modelización (Couso, 2020) e indagación (Jiménez-Liso, 2020) se han definido y secuenciado las diferentes habilidades



Èlia Tena

---

y/o destrezas que se van a trabajar en cada momento de la SEA (ver Figura 1 más adelante). La SEA se inicia con el planteamiento de la problemática y la expresión de las ideas iniciales del alumnado. A continuación, estas se ponen a prueba a partir del diseño y ejecución de un proceso de búsqueda de pruebas: planteamiento de preguntas, recopilación y tratamiento de datos, etc. Finalmente, con las pruebas recogidas y las aportaciones de otras fuentes (p.ej. expertos) se construye un modelo final consensuado el cual, por un lado, es usado para proponer y justificar diferentes soluciones a la problemática y, por otro lado, puede ser aplicado y transferible a nuevas situaciones.

#### **Ideas previas e ideas clave del modelo materia y de la contaminación del aire**

La idea de corpuscularidad de la materia, es decir, entender la materia como discreta, es una idea clave tanto para la ciencia erudita como para la ciencia escolar ya que permite entender y actuar sobre multitud de fenómenos cotidianos (Harlen, 2010; NRC, 2012).

La investigación ha subrayado numerosas ideas alternativas sobre la materia, y especialmente sobre el aire, entre el alumnado de primaria. Algunos ejemplos son que el aire no es materia o que aire y oxígeno son la misma sustancia (Driver et al., 1994; Thornber et al., 1999). Por ello, es necesario proponer actividades que permitan ir superando progresivamente estas ideas y construyendo otras más cercanas al modelo corpuscular escolar esperado en primaria (Nebot y Márquez, 2019).

No obstante, existen pocas investigaciones en didáctica de las ciencias sobre las ideas que el alumnado de primaria tiene sobre la contaminación atmosférica. En algunos casos, se han identificado ideas alternativas como la confusión de la contaminación atmosférica con el efecto invernadero o con suciedad y residuos, por ejemplo, plásticos o basura (Iliopoulou, 2016; Thornber et al., 1999).

Sin embargo, Solé et al. (2020) identifican la contaminación atmosférica, y concretamente la idea de materia particulada en suspensión (PM por sus siglas en inglés), como relevante para las aulas ya que permite trabajar en profundidad aspectos del modelo corpuscular de la materia como la polisemia de la palabra partícula (que designa tanto partículas de polvo como de  $O_2$ ) y las diferentes escalas implicadas (macroescala, mesoescala y submicroescala).

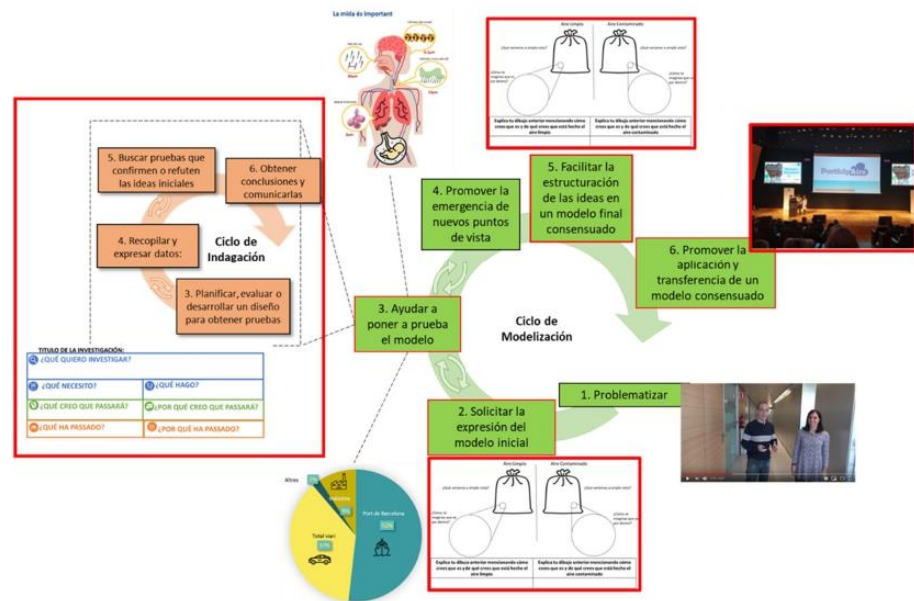
Teniendo en cuenta todo esto se han definido dos ideas clave de la SEA para el alumnado de 5º y 6º curso:

- (1) El aire de nuestro entorno es materia. A nivel macroscópico este tiene unas propiedades (ocupa un volumen...) y a nivel meso/submicroscópico lo podemos imaginar como partes/partículas.
- (2) La contaminación por PM es debida a la existencia en el aire de sustancias sólidas en suspensión, como polvo u hollín, las cuales no siempre se pueden ver a simple vista, pero sí usando una lupa binocular. Por el contrario, las partículas más pequeñas o submicroscópicas, como los átomos y/o moléculas que forman el aire (como el  $O_2$ ) no se pueden ver ni a simple vista ni con este instrumento.

#### **Descripción de las actividades clave de la SEA**

De manera iterativa durante dos cursos (2018-19 y 19-20) se ha diseñado, implementado y evaluado una SEA teniendo en cuenta los principios anteriores. La propuesta se ha implementado en más de 10 escuelas catalanas y ha contado con la participación de 647 alumnos de 5º y 6º curso de primaria (10-12 años) y sus respectivos docentes.

La SEA final tiene una duración de 8h y se compone por distintas actividades (figura 1). Todas ellas, así como la guía docente y otros recursos, se pueden consultar en abierto<sup>1</sup>. Sin embargo, se han identificado 3 actividades como las clave (destacadas en rojo en la figura 1) para hacer avanzar al alumnado en la construcción de las ideas y para involucrarlo en prácticas científicas: (1) la expresión en formato multimodal de las ideas iniciales y finales sobre aire limpio y contaminado, (2) el diseño y realización de una indagación genuina andamiada y (3) el planteamiento de acciones para disminuir la contaminación atmosférica justificadas en base a los resultados y aprendizajes.



**Figura 1.** Esquema de la SEA. En él se muestran las fases del ciclo de modelización (en verde) y de indagación (en naranja) y su relación con las actividades de la propuesta. En rojo se destacan las actividades clave y las fases del ciclo a las que corresponden cada una de estas actividades.

### ¿Cómo imaginamos el aire limpio y contaminado? Expresión multimodal de ideas

Al inicio y final de la SEA el alumnado ha expresado de forma individual y multimodal (dibujando y explicando) cómo se imagina el aire limpio y contaminado tanto a simple vista (a escala macroscópica) como si lo pudiera ver por dentro (a escala meso/submicroscópica) (Figuras 2 y 3).

Ambas actividades tienen como objetivo que el alumnado exprese sus ideas sobre el modelo materia aplicado a dos fenómenos: aire limpio y aire contaminado.

La actividad de ideas iniciales (Tena y Couso, en prensa) nos ha permitido observar, por ejemplo, que la mayoría del alumnado tiene una idea del aire limpio como una sustancia continua y formada por un único componente al que llaman aire, oxígeno o viento (Figura 2).

1 <https://ddd.uab.cat/record/225073?ln=ca>

Èlia Tena

En el caso del aire contaminado, en cambio, las ideas iniciales sobre estructura y naturaleza son diversas. Además, encontramos alumnos que relacionan la contaminación con la presencia de virus, bacterias, CO<sub>2</sub> o humo.

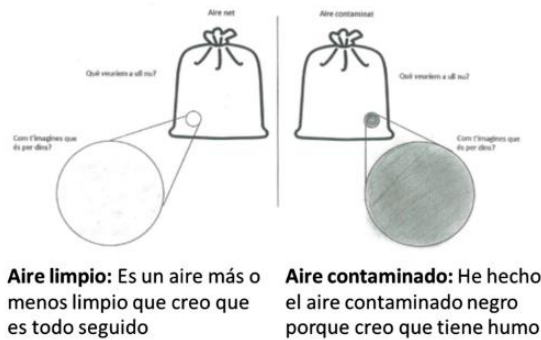


Figura 2 Ejemplo de producción inicial mayoritaria del alumnado.

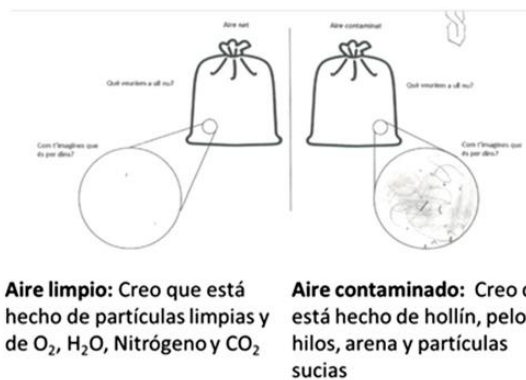


Figura 3. Ejemplo de producción final mayoritaria del alumnado.

El análisis de ideas finales nos ha permitido observar una evolución adecuada de las ideas del alumnado. La mayoría de las representaciones finales (Figura 3) hacen referencia a una sustancia continua con pequeñas "partículas" incrustadas en ella para describir tanto el aire limpio como contaminado. Además, en el aire limpio identifican más de un componente; y en el contaminado la mayoría representan partículas resultantes de la combustión además de hilos o polvo.

#### ¿Cómo podemos saber si el aire de nuestra escuela está contaminado? Diseño de una indagación genuina

Para poner en conflicto y sofisticar sus ideas iniciales se ha involucrado al alumnado en un proceso genuino de indagación análogo al de los científicos. Para guiarlos en este proceso se les ha proporcionado la plantilla de andamiaje PaPER (Tena y Couso, 2020). Además, la retroalimentación docente también ha sido clave, especialmente en 3 momentos: (1) el diseño de la pregunta investigable, (2) el diseño de la metodología y (3) el análisis de los datos y elaboración de resultados y conclusiones. Algunos apoyos en los momentos anteriores, así como ejemplos de producciones iniciales y finales del alumnado han quedado recogidas en la tabla 1.


















Tabla 1. Ejemplos de producciones iniciales y finales del alumnado y andamiaje docente en 3 momentos clave

	Ejemplos de andamiaje docente	Propuestas finales alumnado
<p>Pregunta investigable</p>	<p><b>Propuestas iniciales alumnado</b></p> <p>“¿Qué grado de contaminación hay en el patio?” (E1G6)</p> <p><b>Propuestas finales alumnado</b></p> <p>“¿Qué grado de contaminación hay en la puerta principal y en la puerta de detrás en 24h y a un metro y medio?” (E1G6)</p>	<p><b>Propuestas iniciales alumnado</b></p> <p>“¿Qué grado de contaminación hay en el patio?” (E1G6)</p>
<p>Pregunta investigable</p>	<p><b>Propuestas iniciales alumnado</b></p> <p>“Primer cogieramos los materiales, después engancharíamos el pegamento especial y lo pondríamos en las dos puertas y esperaríamos 24h y si no pasa nada cambiaríamos de opinión.” (E1G6)</p>	<p><b>Propuestas finales alumnado</b></p> <p>“Primer cogieramos los materiales, después engancharíamos el pegamento especial y lo pondríamos en las dos puertas y esperaríamos 24h y si no pasa nada cambiaríamos de opinión. mediríamos las puertas y pondríamos las dos cartulinas a la misma altura y así los dos están igual y lo intentaríamos poner el mismo tiempo.” (E1G6)</p>
<p>Pregunta investigable</p>	<p><b>Propuestas iniciales alumnado</b></p> <p>“Primer cogieramos los materiales, después engancharíamos el pegamento especial y lo pondríamos en las dos puertas y esperaríamos 24h y si no pasa nada cambiaríamos de opinión.” (E1G6)</p>	<p><b>Propuestas finales alumnado</b></p> <p>“Primer cogieramos los materiales, después engancharíamos el pegamento especial y lo pondríamos en las dos puertas y esperaríamos 24h y si no pasa nada cambiaríamos de opinión. mediríamos las puertas y pondríamos las dos cartulinas a la misma altura y así los dos están igual y lo intentaríamos poner el mismo tiempo.” (E1G6)</p>



**Tabla 1. Continuación.** Ejemplos de producciones: iniciales y finales del alumnado y andamiaje hecho por el docente en tres momentos clave

Propuestas iniciales alumnado	Ejemplos de andamiaje docente	Propuestas finales alumnado										
<p>“Que hemos encontrado muchas cosas más. También nosotros ya sabíamos que en la puerta principal había mucha contaminación. Porque la vaselina se queda sucia y hemos mirado cuanto contaminación hay.” (E1G6)</p>	<p>Guía de análisis de muestras (disponible en abierto<sup>1</sup>) para ayudar al alumnado en el análisis e interpretación de resultados.</p> <div style="text-align: center;"> <p>Como analizamos las muestras? Tipo de partículas</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="675 1205 826 1312">  </td> <td data-bbox="675 1097 826 1205">  </td> <td data-bbox="675 990 826 1097">  </td> <td data-bbox="675 882 826 990">  </td> <td data-bbox="675 775 826 882">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="826 1205 999 1312"> <p><b>Arena</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color amarillito-marrón</li> <li>-Formas angulares</li> <li>-Sin medida definida</li> </ul> </td> <td data-bbox="826 1097 999 1205"> <p><b>Tiza</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color blanco</li> <li>-Sin forma ni medida definida</li> <li>-partes "más pequeñas" en las acumulaciones</li> </ul> </td> <td data-bbox="826 990 999 1097"> <p><b>Hollín</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color negro o gris</li> <li>-Forma redondeada</li> <li>-Más pequeñas que las partículas de arena</li> </ul> </td> <td data-bbox="826 882 999 990"> <p><b>Hilos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Sin color definido</li> <li>-Delgados y alargados</li> </ul> </td> <td data-bbox="826 775 999 882"> <p><b>Asfalto</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color negro intenso</li> <li>-Formas angulares</li> <li>-Formado por "pequeñas piedras" juntas que el hollín</li> </ul> </td> </tr> </table> </div> <p>Preguntas docentes para fomentar el registro y representación de los datos:                      ¿Cómo registraréis y representaréis los datos?; ¿Cómo compartiréis los datos con los demás?</p>						<p><b>Arena</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color amarillito-marrón</li> <li>-Formas angulares</li> <li>-Sin medida definida</li> </ul>	<p><b>Tiza</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color blanco</li> <li>-Sin forma ni medida definida</li> <li>-partes "más pequeñas" en las acumulaciones</li> </ul>	<p><b>Hollín</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color negro o gris</li> <li>-Forma redondeada</li> <li>-Más pequeñas que las partículas de arena</li> </ul>	<p><b>Hilos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Sin color definido</li> <li>-Delgados y alargados</li> </ul>	<p><b>Asfalto</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color negro intenso</li> <li>-Formas angulares</li> <li>-Formado por "pequeñas piedras" juntas que el hollín</li> </ul>	<p>“Hemos encontrado más contaminación en la puerta principal había tierra, hojas, hilos, pelos, puntos negros, polen y tierra. En la puerta principal había 80 [partículas] y en la parte de detrás 21 [partículas] de contaminación. Yo creo que en la puerta principal hay más personas que pasan y en la puerta de detrás no hay tanto. Hay puntos negros que pueden ser de obras, tubos [de escape] o de humo” (E1G6)</p>
												
<p><b>Arena</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color amarillito-marrón</li> <li>-Formas angulares</li> <li>-Sin medida definida</li> </ul>	<p><b>Tiza</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color blanco</li> <li>-Sin forma ni medida definida</li> <li>-partes "más pequeñas" en las acumulaciones</li> </ul>	<p><b>Hollín</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color negro o gris</li> <li>-Forma redondeada</li> <li>-Más pequeñas que las partículas de arena</li> </ul>	<p><b>Hilos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Sin color definido</li> <li>-Delgados y alargados</li> </ul>	<p><b>Asfalto</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Color negro intenso</li> <li>-Formas angulares</li> <li>-Formado por "pequeñas piedras" juntas que el hollín</li> </ul>								

### ¿Qué podemos hacer para mejorar la calidad del aire de la escuela? Planteamiento de soluciones justificadas

Para acabar, el alumnado ha propuesto soluciones para reducir la contaminación en su escuela justificando porque son buenas acciones científica y socialmente. Para ello, han tenido que usar los resultados de las investigaciones y aprendizajes hechos a lo largo de la SEA.

Se ha observado un amplio abanico de propuestas (p.ej. plantar muros verticales, reducir el tráfico cerca de la escuela) que se han comunicado con formatos cercanos a los de la ciencia profesional (p.ej. presentaciones orales en congresos infantiles) y/o formatos artísticos o sociales (p.ej. videoclips, campañas de sensibilización) (Figura 4).

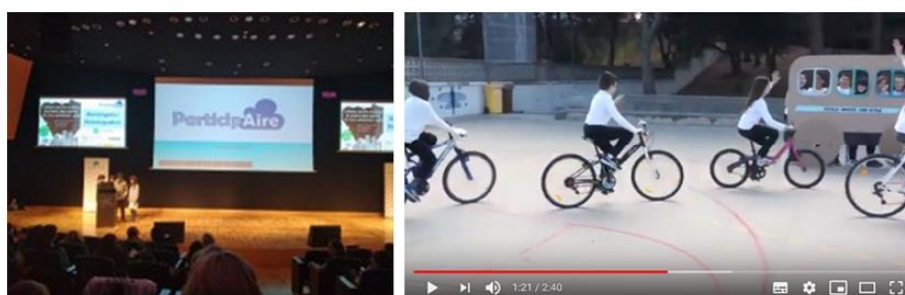


Figura 4. Acciones para mejorar la contaminación atmosférica en la escuela: un congreso infantil (izquierda) y un videoclip (derecha)

### Reflexiones finales

Este artículo presenta un diseño de SEA enmarcada en un paradigma STEM con valores y que fomenta la participación del alumnado en prácticas científicas (Couso, 2017) usando el marco IBM y contextualizado en una controversia socio-científica. Estamos de acuerdo con Jiménez-Liso et al. (2021) en que el diseño e implementación de SEAs para las aulas basadas en investigación es un reto para docentes e investigadoras. Para ello, han sido necesarios diversos ciclos iterativos de mejora hasta llegar a la versión final presentada.

La valoración final positiva hacia los aprendizajes construidos de ciencias (aire limpio y contaminación) y sobre ciencias (las maneras de hacer, pensar, hablar y sentir de la ciencia) así como los resultados presentados nos hacen pensar que la SEA promueve la evolución de las ideas de materia y las habilidades/destrezas de indagación del alumnado. Sin embargo, para poder estar seguros se pretende analizar en profundidad estos aspectos en futuras publicaciones (Tena y Couso, en prensa).

De acuerdo con García-Piqueras y Sotos-Serrano (2021) un aspecto clave para la implementación exitosa de SEA en el aula ha sido la formación y acompañamiento a los docentes. Esto ha implicado analizar y compartir las ideas a construir y las dificultades que presentan a los alumnos, así como la forma de andamiar y retroalimentar necesaria para promover indagación científica escolar genuina y auténtica.

El hecho que la SEA se haya incorporada dentro de la programación habitual de algunas escuelas y se haya usado en diferentes eventos de formación docente nos hace pensar que esta puede ayudar a tender puentes entre la investigación en didáctica y las aulas de primaria.

Èlia Tena

---

### Agradecimientos

Esta investigación se ha realizado en el marco del doctorado en Educación de la UAB y con el apoyo de la Dra. Digna Couso. Ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (PGC2018-096581-B-C21) y la beca predoctoral FI-DGR-2018 dentro del grupo de investigación ACELEC (2017SGR1399).

### Bibliografía

- Basagaña, X. (2018). Els efectes de la contaminació en les persones: què en sabem i de què busquem evidències? *Revista Ciències*, 35, 28-34. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ciencias.392>
- Couso, D. (2014). De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. En M.A. Héras, A. Lorca, B. Vázquez, A. Wamba, R. Jiménez. Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante (pp. 1-28). Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva. Recuperado de: [http://uhu.es/26edce/actas/docs/conferencias/pdf/26ENCUENTRO\\_DCE-ConferenciaPlenariaInaugural.pdf](http://uhu.es/26edce/actas/docs/conferencias/pdf/26ENCUENTRO_DCE-ConferenciaPlenariaInaugural.pdf)
- Couso, D. (2017). Por qué estamos en STEM? Un intento de definir la alfabetización STEM para todo el mundo y con valores. *Revista Ciències*, 34, 22. DOI: <https://raco.cat/index.php/Ciencias/article/view/338034>
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Couso, M.R. Jimenez-Liso, C. Refojo y J.A. Sacristán (Coords), Enseñando Ciencia con Ciencia (pp. 63-74). FECYT & Fundación Lilly. Madrid: Penguin Random House. Recuperado de: <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Crujeiras, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas. *Alambique*, 72, 12-19.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. y Wood-Robinson, V. (1994). Part III: Materials and their properties. In *Making sense of secondary science: Research into children's ideas* (pp. 137-229). Routledge.
- Evagorou, M., Jimenez-Aleixandre, M. P. y Osborne, J. (2012). "Should We Kill the Grey Squirrels?" A Study Exploring Students' Justifications and Decision-Making. *International Journal of Science Education*, 34(3), 401-428.
- García-Piqueras, M. y Sotos-Serrano, M. (2021). Regeneración forestal tras un incendio: complejidad y protocolos en una aproximación STEM transversal. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación De Las Ciencias*, 18(1), 1-19. DOI: [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2021.v18.i1.1201](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1201)
- Guisasola, J., Ametller, J. y 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). DOI: [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2021.v18.i1.1801](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801)
- Harlen, W. (2010). *Principles and big ideas of science education*. Hatfield: Association for Science Education.
- Iliopoulou, I. (2016). Can young students think systemically about the environment? The case of pollution. *Education 3-13*. DOI: <https://doi.org/10.1080/03004279.2016.1266688>



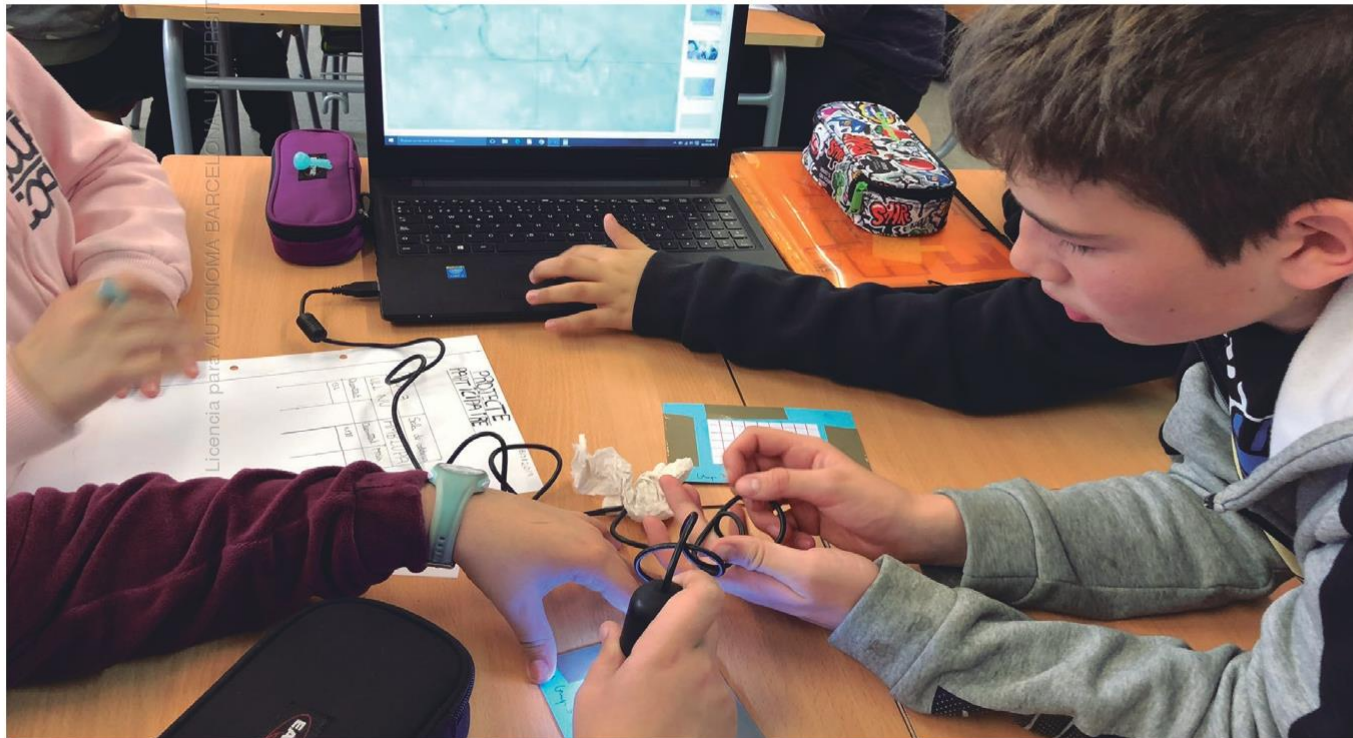
- Izquierdo Aymeric, M. (2014). Los modelos teóricos en la “enseñanza de ciencias para todos” (eso, nivel secundario). *Revista Bio-Grafía*, 7(13), 69-85. DOI: <https://doi.org/10.17227/20271034.13biografia69.85>
- Izquierdo, M. (2017). Atando cabos entre contexto, competencias y modelización. ¿Es posible enseñar ciencias a todas las personas? *Modelling in Science Education and Learning*, 10(1), 309-326.
- Jiménez-Liso, M.R. (2020). Aprender ciencia escolar implica aprender a buscar pruebas para construir conocimiento (indagación). En D. Couso, M.R. Jimenez-Liso, C. Refojo y J.A. Sacristán (Coords), Enseñando Ciencia con Ciencia (pp. 53-62). FECYT & Fundación Lilly. Madrid: Penguin Random House. Recuperado de: <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Jiménez-Liso, R., Delgado, L., Castillo-Hernández, F. J. y Baños, I. (2021). Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria. *Enseñanza de Las Ciencias*, 39(1), 5-25.
- Nebot Castelló, M. R. y Márquez Bargalló, C. (2019). El modelo cinético-corpúscular y las prácticas científicas: una propuesta basada en la dilatación térmica. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 3(2), 21-35. DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2019.3.2.4625>
- NRC (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (Committee). The National Academies Press.
- OCDE (2020). *PISA 2024 Strategic Vision and Direction for Science* (Issue March).
- Reis, P. (2014). Acción Socio-Política sobre Cuestiones Socio-Científicas: Reconstruyendo la Formación Docente y el Currículo. *Unipluriversidad*, 14(2), 16-26.
- Schwarz, C. V. y Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science Education*, 91(1), 158.
- Solé, C., Tena, È. y Couso, D. (2020). ¿Qué modelo de materia explica la contaminación? *Alambique*, 101, 30-36.
- Tena, È. y Couso, D. (2020). ¿Cómo ayudar al alumnado a investigar en ciencias? *Aula de Innovación Educativa*, 298(Octubre), 15-20.
- Tena, È. y Couso, D. (en prensa). What is city air made of? An analysis of pupils' conceptions of clean and polluted air. In Levrini et al. *Engaging with Contemporary Challenges through Science Education Research*. Springer
- Thorner, J., Stanisstreet, M. y Boyes, E. (1999). School Students' Ideas about Air Pollution: Hindrance or Help for Learning? *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 67-73.
- UNESCO (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivos de aprendizaje*. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423>
- Windschitl, M., Thompson, J. y 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. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20259>

4.3.2. Article 1.2. Com es pot ajudar a l'alumnat a investigar en ciències?

A FONS...

## Com es pot ajudar l'alumnat a investigar en ciències?

Èlia Tena Gallego, Digna Couso Lagarón





A l'article s'hi proposa la plantilla de bastida PaPER per promoure la indagació científica genuïna a l'aula, és a dir, la indagació oberta en la qual l'alumnat dissenya les diferents fases de la investigació; s'hi inclouen exemples d'ús d'aquesta plantilla aplicats a l'estudi de la contaminació de l'aire, i també s'hi destaquen els principals aspectes que cal tenir-ne en compte per investigar genuïnament a l'aula de primària.

#### PARAULES CLAU

- indagació oberta
- ciències
- bastida
- recerca
- contaminació

## INVESTIGAR CIENTÍFICAMENT A L'AULA DE PRIMÀRIA. DE QUÈ PARLEM?

Conscients de la importància de la indagació com un procés bàsic per a l'aprenentatge de les ciències, moltes escoles cerquen involucrar l'alumnat en activitats que la fomentin. Sovint aquestes activitats consisteixen a cercar informació per Internet, però també n'hi ha unes altres que són propostes pràctiques i manipulatives en què les estudiants i els estudiants disposen de materials per tocar i per fer-hi proves sense un objectiu concret. Igualment, en alguns centres s'hi proposen observacions i experiments on se segueix al peu de la lletra un guió recepta amb passes detallades. Malgrat la importància d'aquestes activitats, sovint tenen poc a veure amb la manera com s'actua, es pensa i es parla científicament.

Investigar científicament a l'aula de primària implica desenvolupar destreses d'indagació (per exemple: plantejar preguntes, fer prediccions o recollir, analitzar i representar dades), de manera que amb aquestes investigacions aprofundim en alguna àrea científica (Couso, 2014). Quan parlem d'investigacions científiques és recurrent pensar en el mètode seguit com a conjunt de passes seqüenciades: observació, pregunta,

hipòtesi, experiment, anàlisi i conclusions. Això no obstant, en la ciència sovint la pregunta d'investigació canvia mentre s'avança, els experiments no es poden portar a terme tal com es van planejar, els resultats obtinguts poden demostrar fenòmens que no s'estaven preguntant, etc. La ciència, erudita i escolar, més que un mètode que cal seguir té a veure amb unes maneres de fer, de pensar, de dir, de ser i de valorar (Izquierdo i altres, 1999).

Portar a l'aula propostes que ajudin l'alumnat de primària a construir una idea adequada sobre què és i com es fa la ciència és important, però en absolut trivial. Crear aquesta cultura de participar científicament a l'aula s'ha de fer de manera gradual i progressiva, començant per petites indagacions tancades o semitancades. Això no obstant, sota el nostre punt de vista,

Investigar científicament a l'aula de primària implica desenvolupar destreses d'indagació, de manera que amb aquestes investigacions aprofundim en alguna àrea científica

tot escolar en acabar primària s'hauria d'haver enfrontat com a mínim a una indagació oberta en la qual plantegés una pregunta investigable, identifiqués el material necessari, planifiqués els passos que hauria de seguir, recollís i analitzés dades i en tragués conclusions. És en aquesta mena de context genuï on realment es posen en joc les destreses i les disposicions pròpies de la indagació científica escolar.

## COM ES POT PROMOURE LA INVESTIGACIÓ CIENTÍFICA A L'AULA? LA PLANTILLA PaPER

Conscients de la dificultat que representa involucrar l'alumnat en indagacions obertes per construir idees científiques, en el present article presentem una plantilla de bastimentada per facilitar aquest procés. La plantilla PaPER (acrònim de plantejament, predicció, experimentació i resultats) es basa tant en investigacions en didàctica de les ciències com en els resultats d'utilitzar-la a l'aula.

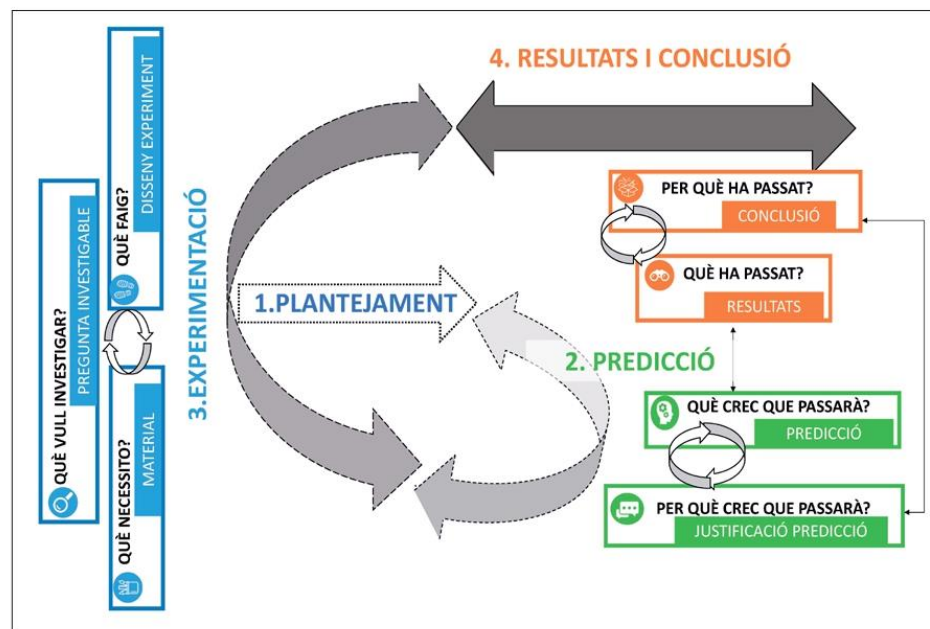
La plantilla PaPER divideix el procés d'indagació en quatre moments clau: el plantejament de la investigació, la predicció inicial, la realització de l'experimentació (recollida de dades) i l'obtenció

de resultats i l'elaboració de conclusions en base a aquests (quadre 1). Per facilitar i guiar l'actuació de l'alumnat, cadascun d'aquests moments s'estructura en forma de preguntes guia. Per exemple: en el moment de la predicció es proposa a l'alumnat que es demani què creu que passarà (predicció) i per què creu que passarà (justificació de la predicció).

La fonamentació teòrica principal d'aquesta plantilla són les propostes de Márquez, Roca i Via (2003), que suggereixen que ens allunyem dels informes de laboratori típics per adoptar una postura narrativa en la qual l'alumnat relati la seva experiència de manera contextualitzada i directa. Així, el focus se centra en l'objectiu (pregunta investigable) i el procés (què i com ho volem fer / com ho hem fet), en lloc de seguir les formalitats del text (de quina manera la ciència erudita escriu els seus informes de laboratori).

Una altra característica de PaPER és la importància que es dona a la predicció. Nombroses investigacions en didàctica, emmarcades sota les sigles POE (predicció, observació, explicació), destaquen la predicció com a element clau, però sovint s'obvia en el procés d'experimentació (Palmer, 1995).

Per acabar, la plantilla emfasitza la importància que l'alumnat expressi aquelles idees que tan aviat li fan predir aquests resultats («per què crec que passarà?») com explicar els que s'han obtingut de l'experimentació («per què crec que ha passat?»). Aquestes preguntes li permeten expressar els seus models inicials sobre el fenomen estudiat, aspecte imprescindible per poder-los



Quadre 1. Moments i preguntes orientadores per guiar la realització d'investigacions a l'aula de la plantilla PaPER. La figura també mostra la correspondència entre cada pregunta i el nom típicament associat a aquesta fase en una indagació científica

posar a prova amb l'experimentació o fer-los evolucionar integrant-hi uns altres punts de vista (Couso, 2020).

### UN EXEMPLE D'ÚS. INVESTIGANT LA QUALITAT DE L'AIRE

A continuació presentem un exemple d'ús de la plantilla PaPER en el marc d'un projecte sobre contaminació atmosfèrica a l'escola. Aquesta indagació tenia com a objectiu ajudar estu-

dants de cinquè i sisè tant a construir idees sobre l'aire i la contaminació (model matèria) com a desenvolupar destreses d'indagació.

### El plantejament: què i com podem investigar la contaminació de l'aire

S'ha començat la indagació demanant a l'alumnat que planteji preguntes investigables sobre la contaminació de l'aire. La majoria de les primeres que es van fer eren massa àmplies i reproductives i, per tant, difícilment investigables. Això no és gens



## A FONDS...

estrany, atès que malgrat que plantejar preguntes investigables ha de ser un dels objectius de les classes de ciència, aquestes no són comunes a les aules (Màrquez, Roca i Via, 2003).

Per fomentar-ne la millora, a la plantilla PaPER s'hi proposen criteris útils per a l'autoavaluació i la coavaluació de les primeres propostes. Per consensuar la pregunta definitiva és imprescindible dedicar temps a l'anàlisi de les preguntes vinculada a la concreció del material i del disseny de l'experiment (quadre 2). Després de la discussió guiada d'aquests altres aspectes, els grups han detallat la relació entre variables o han inclòs les variables de control a la pregunta plantejant qüestions més investigables.

Malgrat les diferències en els plantejaments inicials de l'alumnat en termes de materials i disseny



**Imatge 1.** Full amb vaselina col·locada per recollir la contaminació

de la indagació, es poden identificar similituds al voltant d'idees com ara la mostra o l'instrument de recollida de dades (per exemple: la necessitat d'utilitzar algun material per «enxampar» la contaminació).

Per facilitar la delimitació del material i del disseny de la indagació s'han utilitzat estratègies docents diverses: mostrar-ne exemples (presentant com els científics i les científiques recullen i estudien la contaminació), presentar instruments disponibles (lupes digitals) o fer preguntes per aprofundir («què voleu mesurar?», «què en canviareu per veure com l'afecta?», «què intentareu mantenir-ne sempre igual?»). Un aspecte clau d'aquesta discussió ha estat incorporar com a criteri la viabilitat de les propostes experimentals (que aquesta acció sigui concreta i accessible per ser realitzada a l'escola).

La definició dels materials i del disseny definitiu ha estat consensuada després de diversos moments de negociació, tant entre el propi alumnat com amb el professorat.

### La importància de predir i saber per què prediem

Un cop plantejat el disseny experimental de la indagació s'ha demanat a l'alumnat que fes una predicció del resultat («Què crec que passarà?»). En aquest cas, no estem demanant l'elaboració en forma d'hipòtesi ni de deducció, perquè totes dues requereixen un grau elevat de generalització i un ús de fórmules del tipus: «si... aleshores...» («Si hi ha més cotxes circulant, aleshores hi haurà més circulació»). El nostre propòsit és aconseguir que els infants de primària siguin capaços de pen-

sar quins creuen que seran els resultats concrets del seu experiment en el context plantejat i amb els materials utilitzats.

Perquè la predicció no sigui a l'atzar ni l'important sigui encertar-la o no, és imprescindible que s'expressin els motius que ens portin a predir aquests resultats («per què crec que passarà?»). En fer-ho es comunica a l'alumnat la importància de les idees en ciència i com els resultats dels experiments ens ajuden a qüestionar-les..

### L'experimentació com a acció per recollir dades

La fase d'experimentació requereix familiaritat amb els instruments, les tècniques i els procediments que s'utilitzaran. Per aquest motiu, els docents i les docents han provat els materials i les condicions dels experiments plantejats prèviament. Això ha permès conèixer les dificultats i les problemàtiques amb les quals es podien trobar els infants i reflexionar profundament amb ells sobre els dissenys que presenten abans de començar l'experimentació mitjançant preguntes sobre la viabilitat dels experiments plantejats. Per exemple, se'ls demana: «Creieu que la cola blanca continuarà enganxant la contaminació al cap d'una hora?».

Aquest procés d'anar descartant materials i maneres de fer comporta una certa convergència. Així doncs, en la majoria de casos s'ha optat per col·locar vaselina o uns altres materials sobre com a mínim dos trossos de paper i col·locar-los en diferents ubicacions de l'escola (amunt o avall, a prop de la carretera



TÍTOL DE LA INVESTIGACIÓ:	
<p><b>QUÈ VULL INVESTIGAR?</b></p> <p>Aquesta ha de ser una pregunta investigable que ens ajudi a tenir més informació sobre el problema plantejat: que no es pugui resoldre buscant a Internet, sinó que s'hagin de recollir dades per respondre-la, i que no es pugui contestar amb un sí o amb un no, sinó recollint dades amb el material i les condicions de què es disposa. Per aquest motiu cal que sigui el més concreta possible i que relacioni variables diferents.</p> <p style="text-align: center;">Quin grau de contaminació hi ha a l'escola? Quin ambient és millor, el d'una classe amb les finestres tancades o el de l'hort?</p>	
<p><b>QUÈ NECESSITO?</b></p> <p>Quins materials necessitem per fer la investigació? Com podríem recollir la contaminació? Com podríem mirar la contaminació que hem recollit?</p> <p>«Necessitem paper, cartolina, cinta adhesiva, cera de depilar, un microscopi i un metre.»</p>	<p><b>QUÈ FAIG?</b></p> <p>Quins passos seguirem per fer la investigació? Com ho farem? On ho col·locarem? Durant quant de temps ho deixarem? Com ens assegurarem de fer-ho sempre igual? Què compararem amb què? Quantes vegades ho farem?</p> <p>«Primer agafaríem els materials, després enganxaríem la cera de depilar, ho posaríem a les dues portes i esperaríem 24 hores i si no passa res.</p> <p>Mesurariem les dues portes i col·locaríem les dues cartolines a la mateixa altura i així totes dues estarien igual. Intentaríem posar-les [les dues cartolines] al mateix temps.»</p>
<p><b>QUÈ CREC QUE PASSARÀ?</b></p> <p>Què creus que obtindràs o observaràs en cadascuna de les mostres? Quines diferències creus que hi haurà entre les diferents mostres?</p> <p>«Creiem que l'aire de la classe estarà més contaminat.»</p>	<p><b>PER QUÈ CREC QUE PASSARÀ?</b></p> <p>Què et fa pensar que obtindràs o que observaràs aquests resultats? Per què creus que hi haurà aquesta diferència?</p> <p>«Perquè a l'hort les plantes produeixen oxigen i amb el CO<sub>2</sub> de la carretera del costat. En canvi, a la classe no hi ha plantes i al costat hi tenim el carrer. De vegades deixem alguna finestra oberta en alguna classe, hi passa el fum de la cuina i del carrer, aleshores contamina més i entra a la nostra classe. A més a més, nosaltres expulsem CO<sub>2</sub>, i això contamina.»</p>
<p><b>QUÈ HA PASSAT?</b></p> <p>Què heu obtingut o observat en cadascuna de les mostres? Quines diferències veieu entre les mostres recollides? Podeu identificar alguna de les coses que hi observareu? Quina mena de partícules hi trobeu més? Quines hi trobeu menys?</p> <p>«A la imatge [mostra vista a través de la lupa] de l'hort no s'hi veia contaminació, en canvi a la imatge de la classe hi havia punts negres, fils, etc., però solament quan ho mirem amb el microscopi [lupa].</p> <p>A la mostra de la classe hi ha punts de contaminació, fils i porqueria. A la mostra de l'hort hi ha molt pocs punts negres i només alguns fils petits.»</p> <div style="text-align: center;"> <p>Contaminación en secretaría</p> <p>No hi ha res 10% Espora de fong 10% Fils 80%</p> <p>CARRER PORTA FINESTRES CARRER</p> <p>CARRER PORTA FINESTRES CARRER</p> </div>	<p><b>PER QUÈ HA PASSAT?</b></p> <p>Com explicaries els resultats obtinguts o observats de les mostres? Què us fa pensar en aquests resultats? Són els que esperàveu obtenir? Creieu que amb aquestes dades en tindreu prou o n'hauríeu de recollir més? Si tornéssiu a fer una investigació, què canviariu en aquesta nova recollida de dades?</p> <p>«Crec que el de la classe està més brut, perquè hi passem la majoria del temps i això fa que s'hi acumuli el diòxid de carboni (aire brut), però en canvi a l'hort ja ens esperàvem que estigués més net, perquè les plantes absorbeixen diòxid de carboni i expulsen O<sub>2</sub> (aire net). Creiem que està "mig contaminat" i que podria estar millor.</p> <p>Ens hem adonat que el CO<sub>2</sub> era massa petit perquè el poguéssim veure, aleshores hem pensat que els punts podrien ser: fils de roba, les brutícies del carrer, virus i bacteris diversos, partícules de contaminació, terra a la mostra de l'hort (principalment) i sutge.»</p>

Quadre 2. Plantilla PaPER amb exemples de respostes reals de l'alumnat. Amb fons blanc hi trobareu la resposta inicial, i amb fons blau, la resposta després d'haver parlat i reflexionat en petit grup i amb el professorat

A FONDS...

o del pati...) durant un temps determinat (una hora, vint-i-quatre hores...) per poder comparar el grau de contaminació dels diferents espais (imatge 1).

Un cop transcorregut el temps d'experimentació s'han recollit les mostres i s'han analitzat tant a simple vista com amb l'ajut d'una lupa digital (vegeu la imatge que encapçala l'article d'alumnes mirant una de les mostres recollides amb la lupa digital). Aquest instrument, prèviament presentat, ha permès ampliar la imatge per observar i comptabilitzar diferents partícules contaminants no visibles a ull nu i arribar a diferenciar entre diferents tipus de partícules (de sutge, de fibres, etc.).

### Extracció de resultats i conclusions de les dades

Per ajudar l'alumnat a organitzar la informació, identificar patrons, etc. s'han recuperat les preguntes investigables definitives i s'ha analitzat si els resultats permetien respondre-les. També s'han buscat maneres d'ensenyar i explicar els resultats obtinguts als companys i companyes. Els grups, amb ajuda dels docents, han proposat maneres diferents de representar-los utilitzant taules, mapes de calor, etc. (vegeu el quadre 2).

La fase d'experimentació requereix familiaritat amb els instruments, les tècniques i els procediments que s'utilitzaran

Identificar les semblances i les diferències entre la seva predicció i el resultat obtingut fomenta l'autoregulació del procés

Analizant els resultats obtinguts s'ha demanat que se'n faci una interpretació atenent els motius que poden explicar les semblances i les diferències observades (les fonts de contaminació presents als llocs on s'han recollit les mostres, etc.).

A més a més, amb l'objectiu de fomentar l'autoregulació del procés, en aquesta fase també s'ha demanat a l'alumnat que identifiqui les semblances i les diferències entre la seva predicció i el resultat obtingut. L'objectiu és que els estudiants siguin conscients de la manera com la investigació realitzada els ajuda a modificar les seves idees inicials sobre el fenomen investigat, que eren molt distants del model científic escolar (Tena i Couso, en premsa). •

### Notes

\* AGRÀIMENTS: Al Projecte Atenció finançat per RecerCaixa, impulsat per "la Caixa" amb col·laboració d'ACUP i ParticipAire (FECYT). S'ha obtingut suport del Ministeri d'Economia i Competitivitat (PGC2018-096581-B-C21), dintre del grup ACELEC (2017SGR1399), i la beca predoctoral FI (AGAUR). El treball ha estat realitzat en el marc del programa de Doctorat en Educació de la UAB.

1. El material complet del projecte es pot consultar en obert a <https://ddd.uab.cat/record/225073>

### Referències bibliogràfiques

- COUSO, D. (2014): «De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: una reflexión crítica». 26 *EDCE. Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante*. Huelva. Universidad de Huelva, p. 1-28.
- (2020): «Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo», en COUSO, D. y otros (eds.): *Enseñando ciencia con ciencia*. Madrid. Penguin Random House, p. 63-74.
- IZQUIERDO, M. y otros (1999): «Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. ext., p. 79-91.
- MÁRQUEZ, C.; ROCA, M.; VIA, A. (2003): «Plantejar bones preguntes: el punt de partida per mirar, veure i explicar amb sentit», en SANMARTÍ, N.: *Aprender ciencias tot aprendent a escriure ciència*. Barcelona. Edicions 62.
- PALMER, D. (1995): «The POE in the primary school: An evaluation». *Research in Science Education*, vol. 25(3), p. 323-332.
- TENA, E., COUSO, D. (en premsa): «What is city air made of? An analysis of pupils' conceptions of clean and polluted air from the model of matter perspective». Selected Paper ESERA 2020.

### Hem parlat de:

- Didàctica de las ciencias experimentals / ciències naturals.
- Projectes de recerca.
- Ecologia.

### Autores

Èlia Tena Gallego

Digna Couso Lagarón

Centre de Recerca per l'Educació Científica i Matemàtica (CRECIM). Universitat Autònoma de Barcelona  
[elia.tena@uab.cat](mailto:elia.tena@uab.cat)  
[digna.couso@uab.cat](mailto:digna.couso@uab.cat)

Aquest article fou sol·licitat per GUIX, ELEMENTS D'ACCIÓ EDUCATIVA el mes d'abril de 2020 i acceptat el mes de juliol de 2020 per ser-hi publicat.

**SECCIÓ**

**5**

**ANÀLISI DE LA QUALITAT D'UNA  
SEQÜÈNCIA D'ENSENYAMENT  
APRENTATGE**



## 5

# ANÀLISI DE LA QUALITAT D'UNA SEQÜÈNCIA D'ENSENYAMENT APRENTATGE

## 5.1. PRESENTACIÓ DE LA SECCIÓ 5

Aquesta secció busca analitzar la qualitat d'una seqüència d'ensenyament aprenentatge (SEA/DI) planificada, dissenyada, implementada, avaluada i redissenyada/ refinada dins d'una paradigma de Recerca Basada en el disseny (DBR per la seves sigles en anglès i IBD per les sigles en castellà/català). Aquesta SEA/DI està orientada a l'ensenyament i aprenentatge del model corpuscular de la matèria i al desenvolupament de competències d'indagació en l'alumnat del cicle superior de primària (10-12 anys) i contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica.

Per a l'anàlisi de la qualitat de la SEA/DI dissenyada s'ha utilitzat la proposta de marc teòric i metodològic per a l'anàlisi de la qualitat de SEA/DI des de la perspectiva IBD proposat al marc teòric i metodològic general d'aquesta tesi (article 0, [enllaç](#)). D'acord amb aquest marc, l'anàlisi de la qualitat d'una SEA/DI es basa en l'avaluació de tres dimensions de qualitat: la validesa, la utilitat i la confiabilitat. Cadascuna de les dimensions anteriors, es concreta en diversos criteris d'avaluació (p.ex. la coherència teòrica i la coherència interna en el cas de la validesa o la productivitat i la practicitat en el cas de la utilitat).

Concretament l'objectiu que guia la secció 5 és el següent:

**OE2.** Analitzar iterativament la validesa, la utilitat i la confiabilitat d'una seqüència didàctica (SEA/DI) contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys) que faci evolucionar tant les idees d'estructura i de natura del model corpuscular de matèria del alumnat com les seves destreses pel disseny de preguntes científicament investigables.

Per tal d'assolir aquest objectiu, la secció s'ha dividit en dos objectius (OE2.1. i OE2.2.) i tres estudis més específics. Un primer estudi (Estudi 1) en què s'analitza la qualitat en termes de fiabilitat i validesa, i uns estudis 2 i 3 en els què s'analitza la qualitat en terme de confiabilitat.

L'estudi 1 ([enllaç](#)) respon a l'objectiu específic 2.1. (OE2.1.) següent:

**OE2.1.** Analitzar iterativament la validesa i la utilitat d'una seqüència didàctica (SEA/DI) contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys) que faci evolucionar tant les idees d'estructura i de natura del model corpuscular de matèria del alumnat com les seves destreses pel disseny de preguntes científicament investigables.

Així, en aquest s'aprofundeix, en com s'ha fet l'avaluació iterativa de la qualitat de la SEA/DI en termes de validesa (es a dir, de fins a quin punt el disseny de la SEA/DI es coherent internament i es basa en el coneixement didàctic, pedagògic i científic actual) i en termes d'utilitat (és a dir, fins a quin punt el disseny i la implementació de la SEA/DI permeten obtenir resultats



d'aprenentatge i eines profitoses per a orientar la implementació de la SEA/DI en el context habitual d'aula i/o en altres contextos).

En aquest cas, s'ha optat per una avaluació descriptiva des de la perspectiva de les dissenyadores. Aquesta avaluació s'ha realitzat de forma no totalment sistemàtica però sí amb la profunditat possible en les circumstàncies reals de realització (p.ex. necessitat de tenir els dissenys en un temps concret per a poder ser implementats) i alhora suficient per a garantir la qualitat en termes dels diferents criteris a la SEA/DI. Així, seguidament s'apunten els instruments i estratègies de recollida de dades principals, la tipologia d'anàlisi realitzada, els principals resultats obtinguts i les implicacions i/o modificacions més importants que s'han derivat de l'avaluació de la coherència interna, coherència teòrica, practicitat i productivitat de la SEA/DI.

En canvi, el focus dels estudis 2 i 3 és l'avaluació iterativa de la qualitat de la SEA/di en termes de confiabilitat (es a dir, el grau en que es pot confiar en el disseny de la SEA/DI plantejat perquè la seva implementació es fidedigna, els resultats d'aprenentatge són els esperats i es reforça empíricament els principis de disseny en que es basa). Concretament, aquests estudis responen a l'objectiu específic 2.2. (OE2.2.) següent:

**OE2.2.** Analitzar iterativament la confiabilitat d'una seqüència didàctica (SEA/DI) contextualitza en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cycle superior de primària (10-12 anys) que faci evolucionar tant les idees d'estructura i de natura del model corpuscular de matèria del alumnat com les seves destreses pel disseny de preguntes científicament investigables.

En aquest sentit, s'analitza, d'una banda a l'estudi 2 ([enllaç](#)), l'evolució de l'alumnat en el domini de les idees del model corpuscular de matèria aplicades als fenòmens de l'aire net i contaminat; i, d'altra banda, a l'estudi 3 ([enllaç](#)), l'evolució de l'alumnat en la habilitat de dissenyar preguntes científicament investigables lligades al fenomen de la contaminació al voltant de la seva escola.

Com a productes principals de la secció 5 s'han publicat dos articles:

- **ARTICLE 2.** Tena, È. & Couso, D. (2021) What Is City Air Made of? An Analysis of Pupils' Conceptions of Clean and Polluted Air. In: Levrini O., Tasquier G., Amin T.G., Branchetti L., Levin M. (eds) *Engaging with Contemporary Challenges through Science Education Research. Contributions from Science Education Research*, vol 9. Springer, Cham. [https://doi-org.are.uab.cat/10.1007/978-3-030-74490-8\\_11](https://doi-org.are.uab.cat/10.1007/978-3-030-74490-8_11)

Aquest capítol de llibre de l'editorial Springer forma part de l'estudi 2 i respon a la preguntes investigables 2.1 i 2.2 relacionada amb l'anàlisi de la confiabilitat en termes de l'aprenentatge del model corpuscular de la matèria. En aquest, s'analitzen les representacions i descripcions de l'alumnat sobre l'estructura i natura de la matèria per explicar els fenòmens de l'aire net i l'aire contaminat a l'inici i al final de la SEA/DI ([enllaç](#)).

- **ARTICLE 3.** Tena, È i Couso, D. (aceptado, en prensa) El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria. Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación experiencias didácticas. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5573>

Aquest article forma part de l'estudi 3 i respon a les preguntes 3.1 i 3.2 lligades a l'anàlisi de la confiabilitat en termes de l'habilitat de dissenyar preguntes científicament investigables. En ell s'analitza com evolucionen els dissenys de preguntes investigables elaborades per l'alumnat amb l'ús de diferents estratègies didàctiques, i es proposa una progressió d'aprenentatge empírica que descriu el grau de sofisticació d'aquestes preguntes ([enllaç](#)).

## 5.2. ESTUDI 1

### ANÀLISI DE LA QUALITAT DE LA SEA/DI EN TERMES DE VALIDESA I UTILITAT

#### 5.2.1. PRESENTACIÓ DE L'ESTUDI DE LA QUALITAT EN TERMES DE VALIDESA I UTILITAT (ESTUDI 1)

---

L'estudi 1 d'aquesta tesi doctoral es centra l'anàlisi iteratiu de dues de les dimensions de qualitat identificades en el marc teòric i metodològic per a l'avaluació de la qualitat de les SEA/DI dins del paradigma IBD ([enllaç](#) al marc): la validesa i la utilitat.

La primera d'elles, la validesa, indica fins a quin punt el disseny de la SEA/DI plantejat és coherent internament i es basa en el coneixement didàctic, pedagògic i científic actual. La utilitat, en canvi, indica fins a quin punt el disseny de la implementació de la SEA/DI permet obtenir resultats d'aprenentatge i eines didàctiques profitoses, és a dir, útils per orientar la implementació en el context habitual d'aula i/o altres contextos.

Concretament l'objectiu i les preguntes de recerca d'aquest estudi 1 són les següents:

**OE2.1.** Analitzar iterativament la validesa i la utilitat d'una seqüència didàctica (SEA/DI) contextualitza en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys) que faci evolucionar tant les idees d'estructura i de natura del model corpuscular de matèria del alumnat com les seves destreses pel disseny de preguntes científicament investigables.

**P1.1.** Quina és la qualitat en termes de validesa d'una SEA/DI contextualitza en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys)?

**P1.2.** Quina és la qualitat en termes d'utilitat d'una SEA/DI contextualitza en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys)?

Per a respondre a les preguntes plantejades s'han analitzat els diferents criteris d'avaluació que conformen cadascuna de les dimensions de qualitat anteriors: la coherència interna i coherència teòrica en el cas de la validesa, i la practicitat i productivitat en el cas de la utilitat. S'han recollit evidències diverses al llarg dels diversos prototips de la SEA/DI (prototips 1-3) tant pel que fa a la tipologia d'instruments i al grau de formalitat (p.ex. notes de converses informals, respostes a qüestionaris, anàlisi dels documents dissenyats...) com al perfil dels informants (p.ex. alumnat participant, docents participants, docents no participants, investigadors/es en epidemiologia ambiental o investigadores en didàctica de les ciències).

En ambdós casos s'ha optat per una avaluació no totalment sistemàtica de les dades però amb la profunditat possible tenint en compte les circumstàncies reals de realització (p.ex. la necessitat que el material educatiu estigués dissenyat en un temps concret per poder ser implementat) i alhora suficient per garantir la qualitat de la SEA/DI en termes dels dos criteris d'avaluació: la validesa i la utilitat.

Tal com es posa de manifest a la Figura 9, el conjunt d'evidències recollides i l'anàlisi de les mateixes han permès identificar els aspectes més rellevants de cadascun dels prototips

(prototips 1-3 descrits a la secció 4 d'aquesta tesi doctoral, [enllaç](#)) que cal mantenir i alhora aquells aspectes que ha estat necessari anar millorant. Aquests resultats han estat clau a l'hora de fer canvis fonamentats en la SEA/DI i millorar iterativament els diferents prototips en base a una avaluació de la seva qualitat fins a l'establiment de la SEA/DI implementada per analitzar la confiabilitat i la SEA/DI definitiva dissenyada a posteriori (prototip 4, [enllaç](#)).

En aquest sentit, les descripcions de l'avaluació de cadascuna de les dimensions de qualitat i dels criteris d'avaluació associats en que s'aprofundeix són el que Garrido-Espeja (2017) identifica com a limitacions destacades, és a dir, aquelles limitacions importants que impliquen un redisseny profund dels objectius, activitats o eines proposades, i pels quals hi ha una decisió de canvi conscient i justificat per part de les autores.

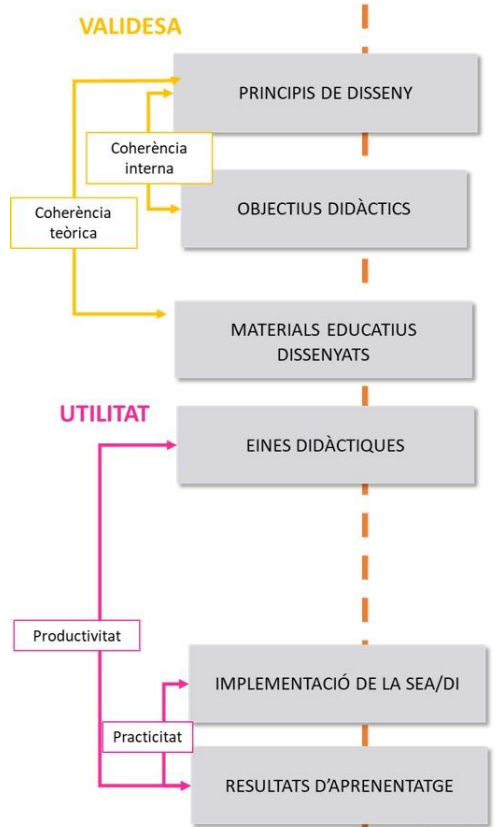
A continuació, es detallen en primer lloc per a la dimensió de validesa i després per a la d'utilitat, els instruments i estratègies de recollida de dades, l'anàlisi realitzada, els principals resultats obtinguts i les implicacions i/o modificacions més rellevants que s'han derivat de l'avaluació de cadascuna.



# ESTUDI 1

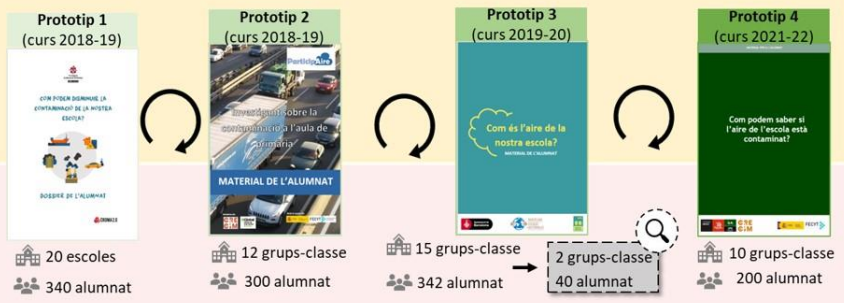
OE 2.1

Anàlitzar iterativament la validesa i la utilitat d'una seqüència didàctica (SEA/DI) contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys) que faci evolucionar tant les idees d'estructura i de natura del model corpuscular de matèria del alumnat com les seves destreses pel disseny de preguntes científicament investigables.



## PREGUNTA DE RECERCA

**P1.1.** Quina és la qualitat en termes de validesa d'una SEA/DI contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys)?



## PREGUNTA DE RECERCA

**P1.2.** Quina és la qualitat en termes d'utilitat d'una SEA/DI contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cicle superior de primària (10-12 anys)?



## PRODUCTES

INSTRUMENTS	ANÀLISI	RESULTATS	MODIFICACIONS DERIVADES	APORTACIONS
...	...	...	...	...

Taula resum dels instruments utilitzats, l'anàlisi feta, els resultats i les modificacions derivades de l'avaluació de la validesa en termes de coherència interna i coherència teòrica



## PRODUCTES

INSTRUMENTS	ANÀLISI	RESULTATS	MODIFICACIONS DERIVADES	APORTACIONS
...	...	...	...	...

Taula resum dels instruments utilitzats, l'anàlisi feta, els resultats i les modificacions derivades de l'avaluació de la utilitat en termes de practicitat i productivitat

Figura 9. Esquema resum de l'avaluació de la qualitat en termes de validesa i utilitat de la SEA/DI i del contingut de l'estudi 1 d'aquesta tesi doctoral.




## 5.2.2. AVALUACIÓ DE LA QUALITAT EN TERMES DE VALIDESA

---

La validesa de la SEA/DI, és a dir, fins a quin punt el disseny plantejat (objectius d'aprenentatge i materials educatius dissenyats) és coherent i es basa en el coneixement didàctic, pedagògic i científic actual, és la primera de les dimensions de la qualitat avaluada. Tal com es pot observar a la Figura 4 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (secció 3 d'aquesta tesi, [enllaç](#)), s'ha avaluat especialment als prototips 1 i 2, és a dir, durant la fase de fonamentació inicial (fase 1) i a l'inici de la fase de desenvolupament i pilotatge (fase 2). Tot i això, tal com s'ha posat de manifest, l'avaluació d'aquesta dimensió també s'ha tingut en compte a la resta de fases de recerca i prototips (3 i 4) de manera acumulativa per garantir que els canvis derivats de l'avaluació no afectaven la seva qualitat i que aquesta es mantenia al llarg de tot el procés de disseny, implementació i avaluació de la SEA/DI.

L'avaluació de la SEA/DI en termes de validesa s'ha centrat en l'anàlisi dels dos criteris que la formen: en primer lloc, la coherència interna, que indica fins a quin punt els materials educatius dissenyats permeten teòricament aconseguir els objectius d'aprenentatge que es persegueixen. I, en segon lloc, la coherència teòrica, que indica fins a quin punt el disseny plantejat es basa en els principis de disseny i contingut didàctic, pedagògic i científic rellevant. La Taula 4 resumeix els principals instruments utilitzats i resultats obtinguts de l'avaluació de cadascun dels criteris així com els principals canvis que es deriven d'aquesta i que s'expliquen amb més detall als corresponents apartats a continuació.

Taula 4. Resum de les dades, tipologia d'anàlisi, resultats i modificacions derivades de l'avaluació de la validesa i concretament dels criteris de coherència interna i coherència teòrica de la SEA/DI

AVALUACIÓ DE LA VALIDESA DE LA SEA/DI						
CRI TE RI	ELEMEN TS	DADES RECOLLIDES	TIPUS D'ANÀLISI	RESULTATS	MODIFICACIONS DERIVADES	APORTACIONS
COHERÈNCIA INTERNA	Objectius d'aprenentatge i Material Educatiu dissenyat	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Document de SEA/DI prototip 1 (material de l'alumnat, material docent...).</li> <li>-Notes de les reunions de l'equip dissenyador on s'han avaluat i millorat de manera iterativa però no sistemàtica els objectius, les activitats i la relació entre elles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Anàlisi del temps estimat de realització de cadascuna de les activitats i a la construcció de cadascun dels objectius</li> <li>-Anàlisi descriptiva i comparativa de l'adequació i relació bidireccional entre objectius d'aprenentatge i activitats</li> </ul>	<p><b>PROTOTIP 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-S'ha observat que l'activitat a la qual es preveu dedicar més temps és l'activitat de dissenyar una recerca sobre la contaminació.</li> <li>- L'anàlisi del temps dedicat a cada activitat i objectiu posa de manifest la necessitat de repensar la rellevància d'algunes activitats en funció dels objectius finals de la SEA/DI.</li> <li>-No s'observa una correspondència total entre objectius i activitats. Hi ha objectius que no es construeixen de manera explícita i directa en cap activitat (p. ex. el vinculat a fonts de contaminació) i hi ha activitats (p.ex. sobre l'aire net) que construeixen idees que no es contemplan als objectius.</li> </ul>	<p><b>MODIFICACIONS AL PROTOTIP 1 (PROTOTIP 2):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Re-definició i jerarquització dels objectius en funció de la importància i profunditat amb què es volen treballar a la SEA/DI.</li> <li>-Re-disseny de les activitats proposades al prototip tenint en compte els canvis i jerarquització dels objectius.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prototip 2:</li> </ul> 
	Principis de disseny de la SEA/DI (objectius d'aprenentatge i materials educatius dissenyats)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Notes de les avaluacions del prototip 1 dels diferents participants (alumnat, docents, investigadors/es en didàctica de les ciències i investigadors/es en epidemiologia ambiental).</li> <li>-Literatura especialitzada sobre la temàtica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Anàlisi de l'adequació i relació entre la SEA/DI dissenyada i els principis de disseny en què es basa</li> </ul>	<p><b>PROTOTIP 1 i 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Identificació de la necessitat d'una bastida cognitiva que estructurari el procés de dissenyar i dur a terme recerques científiques a l'aula i ajudi als seus docents en aquest procés (De Joolingen &amp; Zacharia, 2009; Márquez et al., 2003; Palmer, 1995 ).</li> <li>-Necessitat de concretar la definició de contaminació identificant la importància de la contaminació causada per la matèria particulada (PM) a les grans ciutats davant d'altres contaminants gasos (Basagaña, 2018)</li> <li>-Necessitat d'aprofundir en les propostes del cicle de modelització (Couso, 2020) i d'indagació (Jiménez-Liso, 2020) per a la seqüenciació d'activitats a la SEA/DI.</li> <li>-Identificació en la literatura (Solé et al. 2020) de noves idees alternatives relacionades amb el fenomen de l'aire net i contaminat: necessitat de l'ús d'escals i polisèmia de la paraula "partícula".</li> </ul>	<p><b>MODIFICACIONS AL PROTOTIP 1 (PROTOTIP 2):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Disseny d'una eina d'adamiatge (PaPER) que ajudi a l'alumnat del cicle superior en el procés de dissenyar i dur a terme recerques científiques a l'aula i elaboració d'una guia per ajudar als docents en aquest procés.</li> <li>-Concreció de la idea de contaminació que es vol treballar molt més lligada a la idea de contaminació provocada per matèria particulada (PM) i revisió del focus dels objectius i activitats en aquest sentit.</li> <li>-Ús de les propostes dels cicles de modelització i indagació de manera combinada per a la seqüenciació d'activitats de la SEA/DI.</li> <li>-Revisió de l'ús de la idea d'escala que es treballa en les diferents activitats de la SEA/DI i de l'ús de la paraula "partícula" que es fa al llarg del prototip.</li> </ul> <p><b>MODIFICACIONS AL PROTOTIP 2 (PROTOTIP 3):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concreció d'una única idea de contaminació a construir que inclou exemples d'aquest tipus de partícules (p.ex. pols i sutge), les mides i la seva comparació amb les partícules de l'aire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prototip 2:</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prototip 3</li> </ul> 

### 5.2.2.1. Anàlisi de la coherència interna de la SEA/DI

Per a l'avaluació del primer criteri, la coherència interna, s'ha optat per la revisió en diverses ocasions tant dels objectius d'aprenentatge explícits (redactats a la guia docent) com de les activitats concretes de la SEA/DI (redactades al material de l'alumnat). Aquesta ha consistit en una anàlisi descriptiva i comparativa dels diferents documents dissenyats com a part del prototip 1 per identificar fins a quin punt existia una relació bidireccional entre els materials educatius dissenyats que permetin, potencial o teòricament, aconseguir els objectius d'aprenentatge que es persegueixen a través de les activitats concretes dissenyades.

En aquesta avaluació s'ha implicat a diferents investigadors en didàctica de les ciències amb diferents graus de participació en el disseny de la SEA/DI incloent investigadors-dissenyadors i investigadors del grup de recerca no participants en la iniciativa.

Com a part del procés d'anàlisi de la coherència interna del prototip 1 s'han dut a terme diverses accions entre les que destaquen: la jerarquitització dels objectius en funció de la importància que se'ls ha atorgat en el primer prototip, l'anàlisi del temps estimat que es preveu dedicar a cadascuna de les activitats i sobretot l'anàlisi de la relació entre els objectius i les activitats en que es treballen activament. Un resum de la taula construïda per a aquesta anàlisi es pot veure a continuació Taula 5.

*Taula 5. Resum de la relació entre els blocs, objectius, activitats i temps estimat de dedicació a cadascuna de les activitats al prototip 1 de la SEA/DI. Les cel·les pintades de color gris senyalen aquells punts on no existeix correspondència entre objectius i activitats.*

PRODUCTE 1: FAS-UAB (2018-2019)			
Bloc	Objectiu	Activitat	Temps estimat
0. Presentació		Vídeo presentació de projecte	15 min
1. Aire net		1.1. On hi ha aire?	10 min
		1.2. Com podem comprovar que hi ha aire?	5 min
		1.3. Caçadors d'aire	20 min
		1.4. Com t'imagines que és l'aire?	20 min
2. Aire contaminat	01. Identificar que a les ciutats existeixen diferents elements que contaminen l'aire als que anomenem fonts de contaminació. 02. Reconèixer el trànsit rodat com la principal font de contaminació de les ciutats.		
	03. Comprendre que algunes de les substàncies que emeten els cotxes es troben en forma sòlida en suspensió.	2.1. Aire net i aire contaminat	15 min
3. Indagació guiada	06. Dissenyar un experiment que permeti observar que a l'aire de l'escola podem trobar partícules contaminants en suspensió a l'aire. 04. Aquestes substàncies sòlides no sempre es poden veure a ull un. 07. Reconèixer que a banda de la contaminació dels cotxes hi ha moltes més substàncies sòlides en suspensió a l'aire.	3. Dissenyem una recollida de dades	30 min
		3.1. Recollim mostres	15 min
		3.2. Analitzem mostres	35 min
4. Relació distància-contaminació	05. Analitzar dades per observar que a mesura que ens apropem a una font o més estona exposats a aquesta, podem trobar més contaminants.	4. Com ens arriba la contaminació 4.2. Experimentació amb una analogia de l'olor 4.3. Idees finals sobre com ens arriba la contaminació	45 min
5. Barreres del cos		5. Què contamina a la nostra classe?	15 min
		5.2. Com podem frenar l'olor?	20 min
		5.3. Com frena el nostre cos la contaminació?	15 min
6. Cerca i comunicació de solucions	08. Plantejar iniciatives que ens per ajudar a disminuir la contaminació de l'aire.	6. Pensem una comunicació	20 min
		6.2. Elaborem una comunicació	20 min

Els resultats obtinguts de l'anàlisi del prototip 1 han posat de manifest, per exemple, que l'objectiu que es treballa en més activitats i al que es preveu dedicar un major temps és el que

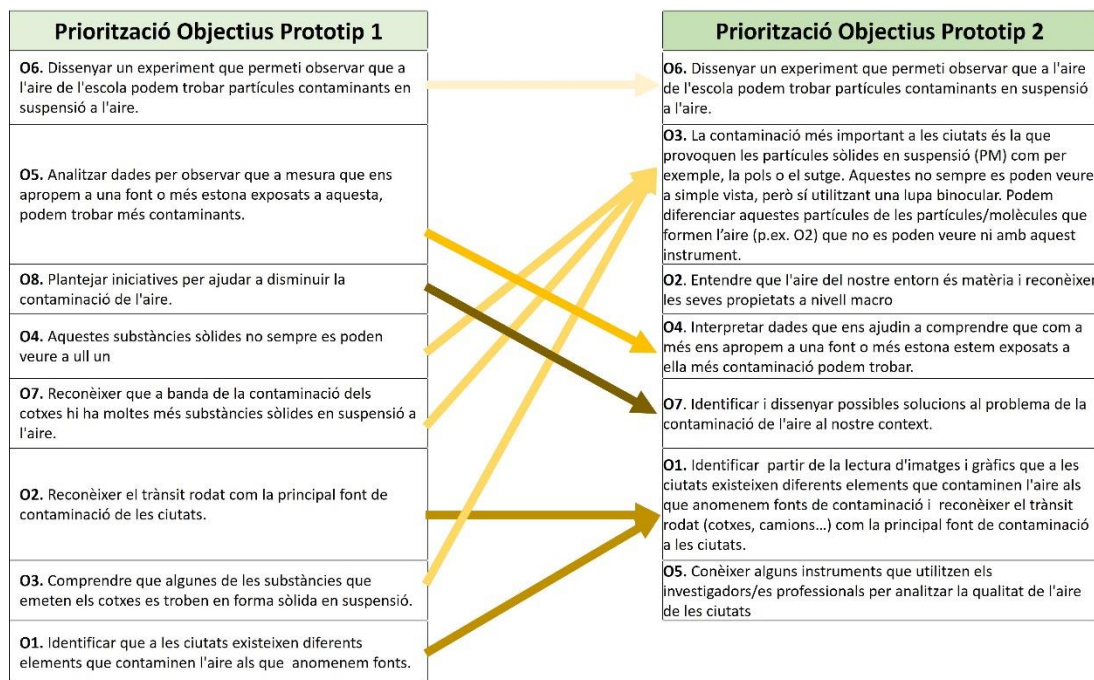


es relaciona amb el disseny d'una recerca per observar que a l'aire de l'escola podem trobar partícules contaminants en suspensió (O6).

D'altra banda, l'anàlisi de la relació entre objectius i activitats ha posat de manifest que en la majoria de casos existeix una relació entre ambdós elements de la SEA/DI. No obstant això, també s'ha identificat que dos dels objectius del prototip, l'objectiu lligat a la construcció de la idea de fonts de contaminació (O1) i l'objectiu lligat a la idea del trànsit rodat com a principal font de contaminació (O2), no es treballen explícitament a cap activitat (veure Taula 5).

De la mateixa manera, s'han identificat activitats en les que s'aprofundeix en la construcció d'idees que no es contemplen als objectius. Un exemple d'això són les activitats del bloc 1 (Taula 5) relacionades amb la idea de l'aire net com un gas amb unes propietats (que es troba a tot arreu, que ocupa tot l'espai del que disposa...); o les activitats del bloc 5 (Taula 5) relacionades amb la idea que el cos té barreres que dificulten que la contaminació penetri al nostre cos i ens afecti a la salut.

Els resultats anteriors ens han portat, en primer lloc, a la necessitat de redefinir els objectius (unint aquells similars, creant nous...) i establir una jerarquizació teòrica pel prototip 2 d'acord amb la doble expectativa de treballar a) la construcció del model matèria a partir de l'estudi dels fenòmens de l'aire net i la contaminació atmosfèrica en profunditat i b) fomentar el desenvolupament de les habilitats d'indagació de l'alumnat.



**Figura 10.** Relació entre la prioritització d'objectius al prototip 1 (a l'esquerra de la imatge) i la prioritització d'objectius del prototip 2 (a la dreta de la imatge) després de l'anàlisi de la coherència interna. Les fletxes també mostren quins objectius s'han unit i redefinit entre el prototip 1 i 2, alguns d'aquests canvis així com els canvis en la redacció dels objectius... es deriven majoritàriament de l'anàlisi de la coherència teòrica que s'explica a continuació.

Cal destacar que tant en la construcció de la jerarquia d'objectius que es recull a la Figura 10, com en el redisseny de les activitats del prototip 2 s'han tingut en compte no només els canvis que han emergit de l'avaluació de la coherència interna, sinó que a més a més s'han incorporat canvis resultants de l'avaluació de la coherència teòrica ([enllaç](#)) com per exemple, la manera com es descriuen els objectius.

A més a més seguint algunes publicacions lligades a l'anàlisi de les transformacions dels dissenys (Ogborn, 2002; Pintó, 2004), identificar i fer explícit pels docents la importància atorgada als diferents objectius de la SEA/DI i la relació entre aquests i les activitats plantejades també és una estratègia útil per superar alguns dels reptes que suposa pels docents l'ús i implementació de material predissenyat. Fent explícit els aspectes anteriors s'intenta evitar, per exemple, la supressió d'activitats per part dels docents/implementadors considerades molt rellevants en el disseny o el canvi en l'aproximació metodològica de les activitats que és un aspecte comú sempre que els i les docents no han tingut la oportunitat d'entendre els detalls didàctics que hi ha darrera la proposta (Couso, 2016).

#### *5.2.2.2. Anàlisi de la coherència teòrica de la SEA/DI*

Per avaluar la coherència teòrica, és a dir, fins a quin punt el disseny de la SEA/DI (objectius d'aprenentatge i materials educatius dissenyats) es basa en els principis de disseny i en coneixement didàctic, pedagògic i científic rellevant, s'ha fet una avaluació amb diferents perfils d'experts: docents de primària, investigadors/es en epidemiologia ambiental i investigadores en didàctica de les ciències experimentals.

Per aquesta avaluació s'ha presentat per separat a cadascun dels avaluadors el prototip 1 (els objectius, una breu descripció de les activitats i un exemple complet d'algunes d'elles). Els comentaris relacionats amb els aspectes a destacar, aspectes a millorar, etc. s'han recollit en forma de notes de la investigadora i posteriorment classificat en funció de les temàtiques a les que feien referència.

A banda de les dades anteriors, per a l'anàlisi de la coherència teòrica també s'ha revisat literatura especialitzada sobre la temàtica, especialment aquella relacionada amb els aspectes a millorar apuntats pels diferents avaluadors.

L'anàlisi de les avaluacions juntament amb les revisions fetes han permès identificar principalment els següents 4 aspectes a millorar al prototip 2:

- (1) la necessitat de dissenyar una bastida de tipus cognitiu (De Joolingen & Zacharia, 2009) que ajudi a l'alumnat en l'estructuració del procés de disseny de les seves investigacions i als docents en el suport d'aquesta previsiblement demandant activitat;
- (2) la necessitat de concretar una definició de contaminació centrada en al contaminació causada per PM donada la seva importància davant d'altres tipus de contaminació atmosfèrica com, per exemple, la causada per gasos (Gignac et al., 2021);
- (3) la necessitat d'aprofundir en la seqüenciació de les activitats d'ensenyament i aprenentatge i en les pràctiques en que s'involucra l'alumnat fent servir els cicles de modelització (Couso, 2020) i indagació (Jiménez-Liso, 2020);
- (4) la necessitat de tenir en compte noves idees que la literatura apunta sobre el model que es vol treballar, les habilitats que es volen desenvolupar... Per exemple, les noves idees alternatives apuntades a Solé et al. (2020) relacionades amb la dificultat de l'alumnat per representar el fenomen de la contaminació.

La detecció de les necessitats anteriors ha propiciat canvis que afecten tant als principis i eines de disseny com als objectius, activitats i eines didàctiques de la SEA/DI plantejada.

En relació a la primera necessitat presentada i, tal com s'ha mostrat anteriorment a la Figura 7 ([enllaç](#)), després de l'avaluació de la coherència teòrica s'ha dissenyat i incorporat com a part

del material de l'alumnat una primera versió de l'eina didàctica PaPER. Aquesta eina busca el que diversos autors identifiquen com a bastida cognitiva (De Joolingen & Zacharia, 2009). És a dir, ajudar a l'alumnat en el procés de dissenyar i dur a terme recerques científiques a partir de l'estructuració i divisió de la tasca en diferents subtasques més assumibles, tot suggerint informació o preguntes que focalitzin i aclareixin la demanda i els ajudin en el procés... En aquest sentit l'eina de bastida proposada pel prototip 2 inspirada en recerques anteriors (Màrquez et al., 2003; Palmer, 1995) estructura els quatre moments d'una investigació (plantejament de la recerca, la predicció i explicitació d'hipòtesis inicials, l'experimentació i l'anàlisi de dades per obtenir resultats i conclusions) i identifica dins de cadascun dels moments anteriors una altra subdivisió de tasques o aspectes sobre els que cal pensar, guiada per preguntes en un llenguatge senzill i propera a l'alumnat (p. ex. Què vull investigar?, Què necessito?, Què faig? en el cas del plantejament de la recerca). Per últim, l'eina en el prototip 2 també inclou bastides per cadascun dels aspectes (p. ex. Quins passos seguirem?, Com ens assegurarem de fer-ho sempre igual?...) que en posteriors avaluacions i prototips s'han col·locat a la part superior de la plantilla (els detalls en aquest sentit es troben desenvolupats a l'apartat d'avaluació de la productivitat d'aquest estudi, [enllaç](#)). La versió final d'aquesta eina de bastida forma part de l'article 1.2. de l'estudi 4 ([enllaç](#))

A més a més, tenint en compte tant el paper clau dels docents en les indagacions destacat per diverses investigacions (Chin & Osborne, 2010; Couso, 2014; Furtak et al., 2012; Romero-Ariza, 2017) i la literatura sobre les transformacions docents en els materials (Ogborn, 2002; Pintó, 2004), s'ha incorporat com a part del material docent del prototip 2 una guia que busca ajudar en l'ús de l'eina didàctica PaPER a l'aula. Aquesta guia comparteix explicacions sobre els objectius i habilitats que es volen treballar en cadascun dels moments i preguntes que es poden fer per ajudar a l'alumnat a millorar cadascun dels aspectes de la recerca.

Una altra modificació que s'ha derivat de les necessitats identificades i, especialment de la importància que els/les investigadors/es en epidemiologia ambiental han atorgat a la matèria particulada (PM per les seves sigles en anglès) davant d'altres contaminants atmosfèrics com els gasos (Basagaña, 2018; Gignac et al., 2021), ha estat la concreció de la idea de contaminació atmosfèrica. Tal com s'observa a la Figura 11 aquesta ha anat variant a mesura que s'avançava tant en el disseny dels prototips com en la seva avaluació. Així, tot i que a l'inici s'havia optat per treballar una idea de contaminació atmosfèrica que incloïa tant els gasos com les PM, les avaluacions del investigadors/es en epidemiologia ambiental durant el disseny del prototip 1 han portat a que la idea que es vol construir en aquest primer disseny complert ja estigui lligada a les PM. En aquest prototip 1 però, tot i treballar-se tres idees importants de la contaminació causada per les PM (la idea que la font principal és el trànsit rodat, la idea que són d'una mida determinada i la idea que diferenciem diverses partícules PM segons el seu origen) no s'estableix una relació entre elles. No és fins al prototip 2 que tant als objectius com a les activitats es busca construir una idea de contaminació causada per PM global que aglutina tant exemples d'aquest tipus de partícules (p.ex. pols i sutge), aspectes relacionats amb la mida de les partícules i la comparació amb les partícules/molècules que formen l'aire.

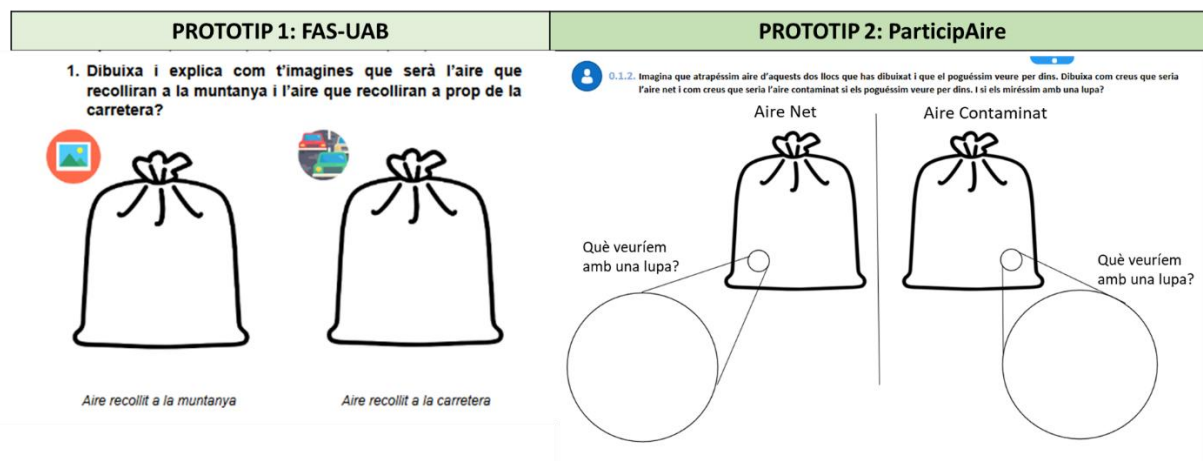


Idea inicial de contaminació	Exemple de la idea de contaminació que guia el Prototip 1	Exemple de la idea de contaminació que guia el Prototip 2
La contaminació és un conjunt de gasos i partícules en suspensió que tenen concentracions suficientment altes per a produir danys en els humans, animals, vegetació o materials	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les substàncies que emeten els cotxes es troben de forma sòlida en suspensió</li> <li>- Aquestes substàncies no sempre es poden veure a ull nu</li> <li>- A banda de la contaminació dels cotxes hi ha moltes més substàncies sòlides en suspensió</li> </ul>	La contaminació més important a les ciutats és la que provoquen les partícules sòlides en suspensió (PM) com per exemple, la pols o el sutge. Aquestes no sempre es poden veure a simple vista, però sí utilitzant una lupa binocular. Podem diferenciar aquestes partícules de la partícules/molècules que formen l'aire (p.ex. O <sub>2</sub> ) que no es poden veure ni amb aquests instruments.

*Figura 11. Exemple de com s'ha incorporat als objectius de la SEA/DI la importància de la matèria particulada (PM) per a la comprensió del fenomen de la contaminació atmosfèrica especialment en les grans ciutats destacat pels investigadors/es en epidemiologia en l'avaluació de la coherència teòrica.*

Al prototip 2 també s'ha aprofundit en la seqüenciació fent ús dels cicles de modelització (Couso, 2020 [-enllaç-](#)) i d'indagació (Jiménez-Liso, 2020 [-enllaç-](#)) presentats al marc teòric d'aquesta recerca. Utilitzar les propostes de cicles anteriors ens ha permès revisar cadascuna de les activitats proposades fixant-nos en quina fase d'ensenyament i aprenentatge es vol promoure (p. ex. sol·licitar la expressió del model inicial, ajudar a posar a prova el model, promoure l'emergència de nous punts de vista...) i en quina pràctica es vol involucrar l'alumnat en cada moment (p. ex. expressar/usar el model inicial, avaluar el model, revisar el model...). Aquest fet ens ha obligat en alguns casos a fer modificacions per ajustar les activitats a les demandes. Així, per exemple, l'anàlisi de les activitats del prototip 1 a partir del cicle d'indagació de Jiménez-Liso (2020) ha posat de manifest la necessitat d'incorporar explícitament la demanda de les idees de l'alumnat sobre la contaminació al voltant de l'escola i com investigar sobre ella (fase 2 del cicle: expressar i justificar idees personals) entre el planejament de la pregunta guia general (fase 1 del cicle: enganxar, contextualitzar) i abans de la planificació de la recollida de dades (fase 3 del cicle: donar prioritat a les proves).

Per últim, durant el disseny dels diversos prototips han anat emergint i s'ha anat aprofundint en noves idees de la literatura. Aquestes s'han anat incorporant als prototips fet que ha provocat modificacions en les activitats. En aquest sentit, per exemple, tenint en compte la importància atorgada a la recerca de Solé et al. (2020) al treball de les diferents escales per a ajudar a l'alumnat en la comprensió del fenomen de la contaminació, entre el prototip 1 i 2 s'han fet diverses modificacions tant en els objectius (veure l'exemple de la Figura 11) com en les activitats (veure Figura 12) incorporant explícitament el treball d'aquesta idea.



**Figura 12.** Activitat d'expressió de les idees inicials i finals en els prototips 1 i 2 de la SEA/DI. A la esquerra de la figura l'activitat del prototip 1 on només es demana l'expressió de les idees a l'escala triada per l'alumnat. A la dreta de la figura, l'activitat del prototip 2 on es demana l'expressió explícita de les idees a diferents escales tenint en compte les idees de Solé et al (2020).


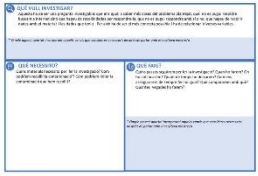
### 5.2.3. AVALUACIÓ DE LA QUALITAT EN TERMES D'UTILITAT

La segona dimensió de qualitat avaluada ha estat la validesa. En aquesta s'analitza fins a quin punt el disseny i la implementació de la SEA/DI permeten obtenir resultats d'aprenentatge i eines didàctiques profitoses, és a dir, útils per orientar la implementació en el context habitual d'aula i/o altres contextos similars. Amb aquest propòsit, s'han analitzat dos criteris: la practicitat (és a dir, fins a quin punt la implementació de la SEA/DI es considera plausible i profitosa en base a la pròpia experiència i/o un anàlisi incipient dels resultats d'aprenentatge) i la productivitat (és a dir, dins a quin punt el disseny de la SEA/DI inclou eines didàctiques que es consideren profitoses i aplicables en altres contextos educatius en termes dels resultats d'aprenentatge).

Aquesta dimensió ha estat avaluada de manera profunda al llarg de la fase 2 (desenvolupament i pilotatge) i especialment, en el prototip 2 de SEA/DI implementat durant el curs 2018-19. Tot i això, com succeeix amb la resta de dimensions i criteris, la seva avaluació s'ha tingut en compte també en la resta de fases i prototips (prototip 3 i 4).

La Taula 6 resumeix els principals resultats obtinguts de l'avaluació de cadascun dels criteris així com els principals canvis que es deriven d'aquesta avaluació i que s'expliquen amb més detall a continuació.

Taula 6. Resum de les dades, tipologia d'anàlisi, resultats i modificacions derivades de l'avaluació de la validesa i concretament dels criteris de coherència interna i coherència teòrica de la SEA/DI

AVALUACIÓ DE LA UTILITAT 9						
CRITERI	ELEMENTS	INSTRUMENTS	TIPUS ANÀLISI	RESULTATS	MODIFICACIONS DERIVADES	APORTACIONS
PRÀCTICITAT	Implementació de SEA/DI i Resultats d'aprenentatge	<p><b>DADES PRINCIPALS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Qüestionari Pre de l'alumnat</li> <li>-Qüestionari Post de l'alumnat</li> </ul> <p><i>Basats en: Archer et al., 2013; Couso Lagarón &amp; Grimalt Álvaro, 2019; Grimalt-Álvaro et al. 2021; Pintó et al. 2015</i></p>	<p>Buidatge i ús de gràfics per a l'anàlisi de les preguntes tancades</p> <p>Anàlisi qualitativa incipient del contingut de les respostes obertes.</p>	<p><b>PROTOTIP 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Docents i alumnat valoren positivament la practicitat de la SEA/DI per implementar-se en condicions habituals d'aula.</li> <li>- Els docents destaquen que la SEA/DI (material de l'alumnat, material docent...) els permet apropiari-se del model científic escolar que es vol construir.</li> <li>- Docents i alumnat identifiquen el potencial de la SEA/DI per implicar-se en problemes actuals rellevants científica i socialment</li> <li>- Docents i alumnat identifiquen el potencial de la SEA/DI per a la construcció d'una imatge de ciència i persones que treballen en ella menys estereotipada.</li> <li>- L'alumnat reconeix el potencial de la SEA/DI per a la construcció de la idea de partícules.</li> <li>- Docents i alumnat identifica l'activitat de dissenyar i dur a terme una recerca com a una activitat clau de la SEA/DI.</li> <li>- Els docents destaquen la necessitat de revisar l'activitat enfocada a la construcció de la idea: més contaminació com més proximitat o temps exposat a la font.</li> <li>- Els docents i l'alumnat assenyalen necessitat d'identificar quines activitats i preguntes son clau i quines secundàries així com de tenir més temps per a les activitats clau: indagació i cerca de solucions.</li> </ul>	<p><b>MODIFICACIONS AL PROTOTIP 2 (PROTOTIP 3):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminació de les activitats relacionades amb la construcció de la idea de més contaminació com menys distància i més temps d'exposició a la font perquè les idees eren senzilles i intuïtives per a la majoria de l'alumnat.</li> <li>- Més temps, com a mínim teòricament, per a les activitats d'indagació de la contaminació a l'escola i el disseny de solucions fonamentades a la problemàtica en el context local.</li> <li>- Identificació de les activitats i preguntes clau de la SEA/DI de les secundàries en funció de la prioritització dels objectius (expressió del model inicial, indagació i plantejament de solucions) i augment del temps destinat a aquestes.</li> </ul>	<p>-Prototip 3 i 4</p>  <p>- <b>ARTICLE 1.1.</b> Tena, È. (2021). ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primaria. <i>Ápice. Revista de Educación Científica</i>, 5(2). <a href="https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7613">https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7613</a></p> <p>- Tena, È. y Couso, D. (2018). Compendio de herramientas para evaluar el impacto de iniciativas de investigación científica para alumnado de Educación Primaria con perspectiva RRI. DDD-UAB, Barcelona <a href="https://ddd.uab.cat/record/210969?n=c">https://ddd.uab.cat/record/210969?n=c</a></p> <p>- Tena, È. y Couso, D. (2018). Informe de evaluación del impacto de iniciativas de investigación científica para alumnado de Educación Primaria con perspectiva RRI. DDD-UAB, Barcelona. <a href="https://ddd.uab.cat/record/212534?n=c">https://ddd.uab.cat/record/212534?n=c</a></p>
		<p><b>DADES SECUNDÀRIES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Notes de la investigadora recollint impressions informals (p.ex. comentaris, idees...) dels participants.</li> <li>-Gravacions de la SEA/DI</li> </ul>				
PRODUCTIVITAT	Eines didàctiques i Resultats d'aprenentatge	<p><b>DADES PRINCIPALS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Qüestionaris Docents participants-implementadors</li> <li>- Qüestionaris docents no participants creats ad.hoc</li> </ul>	<p>Anàlisi qualitativa del contingut</p>	<p><b>PROTOTIP 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Els docents participants reconeixen el potencial de l'eina PaPER tant per involucrar a l'alumnat en el disseny d'una recerca com per a replantejar-se la seva pròpia pràctica docent especialment sobre com plantejar i dur a terme recerques científiques més enllà de la proposta.</li> <li>- Durant la implementació es detecta que algunes de les preguntes per guiar l'acció i el pensament de l'alumnat incloses en cadascun dels moments de la plantilla PaPER prototip 2 són útils per alguns grups, però representen una limitació per a alguns altres que els impedeix avançar en el disseny i implementació de la seva recerca.</li> <li>- Durant la implementació s'observa que l'alumnat té dificultat per recordar quines dades ha recollit i quines són les característiques principals del context de recollida.</li> </ul> <p><b>PROTOTIP 3:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Docents no participants fan una valoració positiva de l'eina PaPER presentada i creuen que pot ser útil per a ser implementada a les seves aules.</li> <li>- S'han identificat altres contextos en què s'utilitza PaPER (Lorenzo, 2021)</li> <li>- El prototip 2 de SEA/DI té més de 4000 visites i el prototip 3 més de 800.</li> </ul>	<p><b>MODIFICACIONS AL PROTOTIP 2 (PROTOTIP 3):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Refinament de l'estructura i criteris de l'eina d'andamiatge PaPER per tal d'assegurar que és útil i ajuda a tot l'alumnat. Per exemple, incloent-hi preguntes per guiar l'acció i el pensament de l'alumnat en cadascun dels moments de la plantilla (disseny de preguntes investigables...) però no com a part estructurant o passos a seguir.</li> <li>- Incidir a la guia docent i formacions del projecte la necessitat de recordar amb l'alumnat quines són les dades que ha recollit i les principals característiques del context de recollida.</li> </ul> <p><b>MODIFICACIONS AL PROTOTIP 3 (PROTOTIP 4):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No es fan canvis importants més enllà de la correcció d'errates ortogràfiques i gramaticals.</li> </ul>	<p>-Eina didàctica PaPER</p>  <p>- <b>ARTICLE 1.2.</b>Tena, È. y Couso. D. (2020). ¿Cómo ayudar al alumnado a investigar en ciencias? Aula de Innovación Educativa, 298 pp. 15-20. <a href="https://www.grao.com/es/producto/como-ayudar-al-alumnado-a-investigar-en-ciencias-au29899373">https://www.grao.com/es/producto/como-ayudar-al-alumnado-a-investigar-en-ciencias-au29899373</a></p>
<p><b>DADES SECUNDÀRIES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Notes de la investigadora durant la implementació</li> <li>-Gravacions de la implementació</li> <li>-Produccions de l'alumnat</li> </ul>						

### 5.2.3.1. Anàlisi de la practicitat de la SEA/ DI

El primer criteri d'utilitat que s'ha analitzat és la practicitat, és a dir fins a quin punt la implementació de la SEA/DI es considera profitosa, en termes tant de plausibilitat de la implementació com d'obtenció de resultats considerats positius respecte alguns dels objectius didàctics de la SEA/DI (en concret, l'objectiu didàctic de contribuir a un posicionament STEM positiu de l'alumnat). Això ho fem en base a un anàlisi incipient de l'experiència i percepció dels diferents agents educatius involucrats (en el nostre cas: docents, alumnat, investigadores en didàctica de les ciències i investigadors/es en epidemiologia).

Per a l'anàlisi d'aquest criteri s'han dissenyat i recollit dades a través de diversos qüestionaris. Concretament, s'ha dissenyat un qüestionari previ (pre) i un posterior (post) a la implementació de la SEA/DI per a alumnat ([enllaç](#) a l'annex), un altre qüestionari previ (pre) i posterior (post) pels docents ([enllaç](#) a l'annex).

Els qüestionaris de l'alumnat proposats tenen un doble objectiu: d'una banda, identificar les expectatives/satisfacció vers la SEA/DI i la seva implementació a l'aula i, d'altra banda, analitzar l'impacte de la SEA/DI i la seva implementació en el posicionament STEM de l'alumnat (percepció d'autoeficàcia, interès, identitat i aspiracions). Per dissenyar aquests qüestionaris s'ha partit de propostes provades i validades en recerques anteriors amb objectius similars (Archer et al., 2013; Couso & Grimalt-Álvaro, 2019; Grimalt-Álvaro et al., 2021; Pintó et al., 2015). Aquests qüestionaris s'han adaptat tant en el contingut com en la forma al context d'implementació i característiques de la SEA/DI. Per exemple, preguntant explícitament pel seu interès en la temàtica de la contaminació, adaptant el llenguatge utilitzat per assegurar que l'alumnat de 10-12 anys el podria comprendre, afegint icones visuals que reforcen el missatge escrit en la tria d'opcions múltiples, entre altres. Abans de la seva implementació definitiva, els qüestionaris han estat pilotats amb una mostra reduïda formada per un dels grup-classe d'alumnes participants en el projecte (25 alumnes).

En el cas dels qüestionaris dels docents l'objectiu també ha estat doble: primer, identificar les expectatives/ satisfacció amb la SEA/DI i la seva implementació i, segon, analitzar l'impacte de la SEA/DI i la seva implementació en la percepció sobre les seves classes de ciència i la recerca i innovació responsable (RRI per les seves sigles en anglès). El seu disseny ha seguit un procés similar al de l'alumnat ja que ha partit de qüestionaris existents i validats en recerques anteriors (Hernández & Couso, 2016; Rodríguez-Simarro & Couso, 2018) als que s'han fet lleugeres modificacions. Aquests canvis han buscat garantir la recollida de l'opinió dels docents respecte aspectes com, per exemple, les limitacions principals que identifiquen a l'hora de fer ciències a l'aula amb l'alumnat. Donada la quantitat reduïda de participants (10 docents i 4 investigadors) i la necessitat de tenir en compte totes les opinions, en aquest cas s'ha optat per validar els qüestionaris finals amb els canvis incorporats amb altres investigadors/es en didàctica de les ciències (validació per experts).

A banda dels qüestionaris anteriors, s'han recollit notes de la investigadora, impressions informals (p.ex. comentaris, idees...) que els diferents participants han anat fent al llarg de la implementació i gravacions de la implementació de la SEA/DI en dues de les escoles participants. Aquestes dades han estat clau tant per a la triangulació de fonts com per aprofundir en l'anàlisi de la practicitat.

L'anàlisi i els resultats en detall de les dades anteriors s'ha publicat en obert a: "*Informe de evaluación del impacto de iniciativas de investigación científica para alumnado de Evaluación Primaria con perspectiva RRI*" ([enllaç](#)). A continuació, aprofundim en aquells aspectes de l'anàlisi

que han estat més rellevants per a l'avaluació de la qualitat en termes de practicitat de la SEA/DI, la seva implementació i la presa de decisions derivada d'aquesta.

En general, l'anàlisi de les respostes dels diferents participants als qüestionaris ens ha permès obtenir una valoració positiva de la SEA/DI i de la seva implementació en condicions habituals d'aula. Així, la SEA/DI ha mostrat ser plausible en condicions naturals, es a dir, realitzable en els tempos i amb els materials/recursos disponibles, així com amb el professorat i alumnat existent.

A més a més, tal com es pot observar als exemples següents, l'anàlisi dels qüestionaris dels docents ens ha permès identificar que la SEA/DI plantejada i implementada (material de l'alumnat, dels docents...) és profitosa des de la perspectiva dels participants i es relaciona amb les diferents expectatives i objectius didàctics perseguits.

Així, segons la perspectiva dels i les mestres involucrades, la SEA/DI els permet als apropiar-se del model científic escolar que es vol construir (les idees de matèria gas aplicades al fenomen de l'aire i de contaminació que es volen treballar) i que en alguns casos reconeixen no dominar tant com altres aspectes relacionats amb la gestió de l'aula...

*"El material es una bona pauta de treball, un guió que ajuda al docent a conduir a l'alumnat per a poder realitzar el seu propi aprenentatge" (PostQuestionari\_Docent participant\_1)*

*"M'ha ajudat a complementar la part didàctica que ja domino (gestió de grup, del temps, de les activitats, adaptacions del contingut al grup...) amb la part més científica del tema d'estudi, sobre com està a l'actualitat el fenomen a estudiar, els estudis, informació de la qualitat actualitzada... sobre la qual no tinc tant domini" (PostQuestionari\_Docent participant\_7)*

En aquesta mateixa línia, els docents també han reconegut el potencial de la SEA/DI dissenyada tant per implicar a l'alumnat en problemes actuals rellevants científicament i social/personal, com per a la construcció d'una idea de ciència i de les persones que treballen a la ciència més realista i menys estereotipada.

*"Trenca els estereotips de l'alumnat, els fa plantejar-se més preguntes i tenir més ganes de descobrir" (Post-Qüestionari\_Docent participant\_1)*

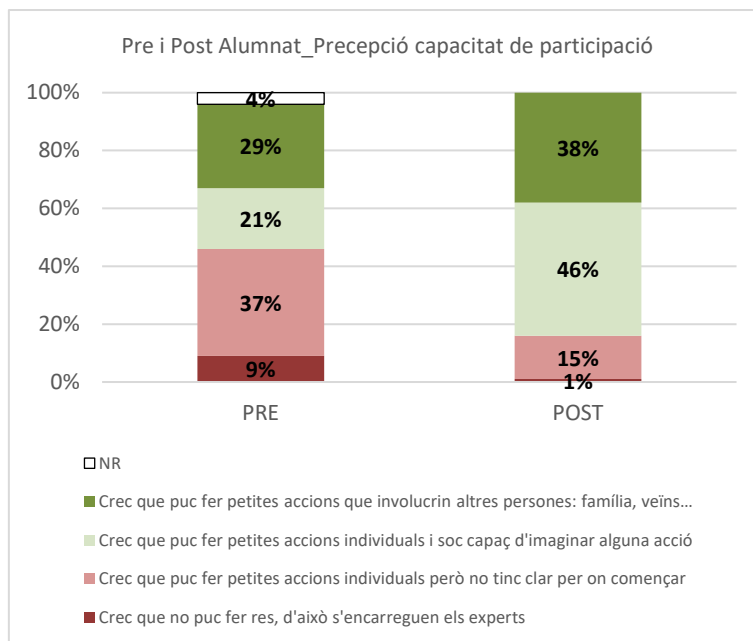
*"Els apropa a la realitat i els fa ser realistes amb les propostes de millora. Els ajuda a implicar-se en el món en el que viuen" ( Post-Qüestionari\_Docent participant\_2)*

Aquestes opinions són coherents amb les respostes de l'alumnat ja que aquests identifiquen el plantejament de solucions fonamentades en la seva recerca com un aspecte positiu de la SEA/DI. A més a més, la comparació de les seves respostes al qüestionari pre i post (gràfic 1) mostra una millora de la confiança en les seves capacitats per proposar solucions a la problemàtica de la contaminació atmosfèrica.

*"[L'aspecte que destacaria com a més positiu és] Quan vam anar a parlar amb la regidora d'urbanisme de l'ajuntament perquè li vam explicar lo que estaven fent sobre aquest projecte i buscar petites solucions per reduir-la." (Post-Qüestionari\_E3\_A50)*

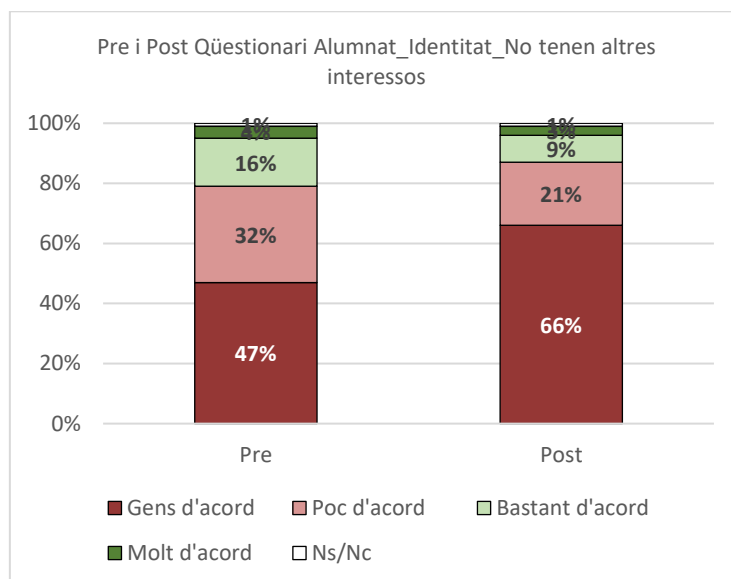
*"He après molt sobre la contaminació que ens envolta. M'ha agradat que ho féssim tots junts. Hi havien totes les preguntes de cada grup, de manera que hi havia molta cosa per aprendre ( I vam aprendre). Ha estat molt bé que poséssim propostes per millorar, així aquest projecte ha servit de més." (Post-Qüestionari\_E2\_A149)*

*"Jo destacaria lo de poder reduir la contaminació de l'aire perquè jo no sabia com poder reduir la contaminació de l'aire." (Post-Qüestionari\_E3\_A23).*



**Gràfic 1.** Percepció de capacitat per participar en la cerca de solucions i actuar per aconseguir-les declarada per l'alumnat en pre i post-qüestionari. Publicat al "Informe de evaluació del impacte de iniciatives de investigació científica para alumnado de Educación Primaria con perspectiva RRI" ([enllaç](#)).

De la mateixa manera, l'anàlisi de les respostes als qüestionaris (gràfic 2 i exemples a continuació) mostren que al final l'alumnat té una imatge més realista i menys estereotipada de les persones que es dediquen a les STEM.



**Gràfic 2.** Percepció declarada per l'alumnat al pre i post qüestionari de la identitat de les persones que es dediquen a la ciència en la variable: les persones que es dediquen a la ciència no tenen altres interessos que la ciència. Publicat al "Informe de evaluació del impacte de iniciatives de investigació científica para alumnado de Educación Primaria con perspectiva RRI" ([enllaç](#)).

*"Perquè a part de que jo era la que exposava per mi ha sigut una experiència important perquè m'he sentit important, com si fos una científica" (Post-Qüestionari\_E3\_A48)*

*"[Les persones que es dediquen a les STEM] sí que s'assemblen a mi perquè són persones com jo que ens agrada passar el temps amb la família i no [s'assemblen a mi] perquè ells són professionals i jo no" (Post-Qüestionari\_E4\_A185)*

L'anàlisi fet també ha posat de manifest que part de l'alumnat reconeix el potencial de la SEA/DI implementada per a la construcció, especialment, de la idea de partícules i la idea de la contaminació com una problemàtica que els afecta directament.

*"Destacaria les partícules, perquè abans de començar aquest projecte jo no sabia que eren les partícules i ara sí que ho sé." (Post-Qüestionari\_E4\_A193)*

*"que les partícules a ull nu no es el mateix que amb lupa" (Post-Qüestionari\_E1\_A81)*

*"que no sabem que hi havia tanta contaminació al planeta ni gairebé que era, però ara ja ho sabem." (Post-Qüestionari\_E4\_A87)*

*"Que l'aire està molt més contaminat del que creïem i hem de fer alguna cosa per solucionar-ho." (Post-Qüestionari\_E1\_A72)*

Aprofundint una mica més en les activitats del prototip 2 trobem que tant l'alumnat com els docents destaquen l'activitat de dissenyar i dur a terme una recerca per conèixer la qualitat de l'aire de la escola com una activitat clau de la SEA/DI.

*"[L'aspecte que destacaria com a més positiu és] fer, posar i mirar les mostres" (Post-Qüestionari\_E1\_A25)*

*"Destacaria l'experiment per saber quina és la qualitat de l'aire de la nostra escola perquè m'ha agradat molt saber de l'aire que respirem a l'escola" (Post-Qüestionari\_E2\_A167)*

En relació als aspectes a millorar, tant docents com alumnat han destacat la necessitat de revisar a la propera iteració de la SEA/DI la primera activitat del prototip 2 enfocada a la construcció de la idea 5: "la contaminació és major a major proximitat o temps exposat a una font". La revisió de les gravacions audiovisuals realitzades en aquesta sessió, a més a més, mostren que la idea anterior és una idea força intuïtiva que l'alumnat construeix amb facilitat.

*"Potser hi ha un excés d'activitats abans de començar la pròpia investigació [fent referència a les activitats de construcció de la idea que com més a prop estàs de la font o més temps d'exposició a aquesta, més contaminació]" (PostQuestionari\_Docent participant\_3)*

*"Em vaig avorrir una mica en les primeres activitats teòriques investigació [fent referència a les activitats de construcció de la idea que com més a prop estàs de la font o més temps d'exposició a aquesta, més contaminació]" (PostQuestionari\_E2\_A143)*

Tal com es pot veure al exemples següents, també s'ha subratllat la necessitat de seleccionar i identificar millor aquelles preguntes del material que són imprescindibles i què cal que l'alumnat respongui per escrit, d'aquelles que poden ser debatudes oralment sense la necessitat que l'alumnat inverteixi temps en la seva expressió escrita. En aquest sentit, part de les respostes també apunten la necessitat de més temps, especialment per a la realització de dues de les activitats proposades: la recerca sobre la contaminació a la pròpia escola i el plantejament de solucions per a la problemàtica.

*"Jo canviaria no escriure tant en els fulls i fer més experiments" (PostQuestionari\_E2\_159)*

*"[M'hagués agradat] que estudiéssim més com arreglar-ho" (PostQuestionari\_E5\_A6)*



*“[Caldria millorar] l'inici de la guia. Anar més directe a les investigacions” (PostQüestionari\_Docent participant\_9)*

Així, els comentaris rebuts pels diferents participants han posat de manifest que tot i que a nivell general la practicitat de la SEA/DI en el prototip 2 és bona i hi ha aspectes molt positius en el prototip, és necessari revisar encara alguns aspectes. Per aquest motiu, un dels primers canvis que s'han realitzat al prototip 3 de SEA/DI ha estat eliminar les activitats inicials (relacionades amb la construcció de la idea la contaminació és major a major proximitat o temps exposat a una font) ja que com s'ha comentat buscava la construcció d'una idea força intuïtiva per a l'alumnat.

Ahora, eliminar aquestes activitats de la SEA/DI ha permès atendre una altra dels aspectes subratllats pels docents: disposar de major temps, com a mínim teòricament, per a les activitats d'indagació de la contaminació a l'escola i disseny de solucions fonamentades a la problemàtica en el context local.

Una altra decisió en aquest sentit ha estat fer explícit pels docents la diferenciació entre les activitats clau de la SEA (p.ex. les activitats d'expressió inicial i final de les idees sobre l'aire net i contaminat; el disseny i implementació d'una recerca sobre la contaminació a l'escola i el plantejament de solucions a la problemàtica) i les activitats secundàries o de menor rellevància per a l'assoliment de les idees i objectius d'aprenentatge de la SEA/DI plantejada (p. ex. la identificació de les fonts de contaminació o l'aprofundiment en les barreres que té el nostre cos per evitar l'entrada de les diferents partícules a l'organisme...). Tal com hem expressat a l'avaluació de la coherència interna ([enllaç](#)) per a la classificació de les activitats s'ha tingut en compte la jerarquitització dels objectius feta.

Per últim, de la mateixa manera que ha passat respecte l'avaluació de la qualitat en termes de la validesa, compartir de manera explícita amb el professorat les expectatives de les investigadores en termes de practicitat (plausibilitat, profit en termes de percepció de resultats positius respecte el posicionament STEM o la perspectiva RRI, profit en termes de percepció de resultats positius en termes d'aprenentatge, etc.), i per tant, la importància atorgada a les diferents activitats, creiem que ha ajudat als docents a identificar tant les activitats com les preguntes clau en les que és necessari invertir més temps i aprofundir amb l'alumnat, d'aquelles en que l'aprofundiment no és tant necessari i, per tant, que requereixen de menys temps, es poden contestar oralment, etc.

### *5.2.3.2. Anàlisi de la productivitat de la SEA/DI*

L'avaluació de la productivitat de la SEA/DI (és a dir fins a quin punt la SEA/DI inclou eines didàctiques que es consideren profitoses i aplicables en altres contextos en termes dels resultats d'aprenentatge) s'ha centrat sobretot en la principal eina didàctica dissenyada i utilitzada tant en la SEA/DI com en formacions docents independents: l'eina de bastida PaPER (article 1.2. d'aquesta tesi, [enllaç](#)). Ahora, però, de manera menys sistemàtica, també s'ha avaluat la productivitat de la SEA/DI completa.

Aquesta anàlisi, sobre tot, s'ha dut a terme al llarg de la fase 2 del procés IBD (desenvolupament i implementació de la SEA/DI) i lligada als prototips 2 i 3. Específicament, al prototip 2 (Projecte ParticipAire) s'ha fet una anàlisi de la productivitat en el propi context d'implementació, és a dir, s'ha avaluat fins a quin punt l'eina didàctica principal PaPER es considera profitosa i aplicable en el propi context. A continuació, al prototip 3 (Microxarxa Escola Respira), aquesta anàlisi s'ha ampliat incorporant l'anàlisi de la productivitat també en altres contextos, és a dir, s'ha avaluat

fins a quin punt la plantilla PaPER es considera una eina profitosa i amb potencial per a ser aplicada en altres cursos i escoles amb característiques diferents.

En el cas de l'avaluació de la productivitat lligada al prototip 2 s'ha recollit l'opinió dels docents participants sobre els productes principals de la SEA/DI utilitzant els mateixos qüestionaris que per a l'avaluació de la practicitat ([enllaç](#) a l'annex). Per a aquesta, també s'han tingut en compte les notes de la investigadora durant la observació de la implementació, les gravacions fetes al llarg d'aquest procés i les produccions de l'alumnat.

L'anàlisi de les respostes dels docents al qüestionari ha posat de manifest el potencial de la SEA/DI i de l'eina de bastida PaPER per ajudar a l'alumnat a dissenyar les seves recerques i alhora per ajudar als docents a replantejar-se la seva pròpia pràctica docent. Especialment sobre com plantejar i dur a terme recerques científiques a l'aula més enllà de la proposta en que s'han involucrat.

*"M'ha ajudat a entendre millor com es pot treballar el mètode científic i també m'ha donat idees per treballar de forma més competencial" (Qüestionari Post\_Docent Participant\_5)*

*"[A partir d'ara] Intentaré seguir la mateixa estructura [que s'ha seguit a la SEA/DI plantejada]: partir de problemes socialment rellevants i dedicar més temps a la investigació. Per fer-ho hauré de reduir o replantejar els continguts que tenim establerts en el nostre Projecte Curricular de Centre." (Qüestionari Post\_Docent Participant\_7)*

*" [La SEA/DI proposada m'ha portat a plantejar-me] Implementar més el procediment científic en el plantejament de temes de ciència, fer-nos preguntes sobre el que ens envolta i investigar més." (Qüestionari Post\_Docent Participant\_1)*

Tot i que en general els comentaris dels docents tant al qüestionari com de manera informal respecte als productes resultants i, especialment, respecte a l'eina de bastida PaPER han estat positius, l'anàlisi d'altres dades recollides (les notes de la investigadora, les gravacions de la implementació i les produccions de l'alumnat) han posat de manifest la necessitat de revisar dos aspectes d'aquesta: la bastida intermèdia que es dona a l'eina PaPER del prototip 2 (afirmacions i/o preguntes que apareixen en cadascun dels apartats de l'eina a la Figura 13) i la presa de consciència sobre les dades recollides.

En relació a les preguntes intermèdies, tal com hem apuntat anteriorment, a partir de l'anàlisi de les diverses dades recollides s'ha pogut observar que mentre per alguns grups d'alumnes la bastida intermèdia que conté PaPER al prototip 2 (p. ex. què/qui produirà la mostra?, amb què recolliràs la mostra?...) eren útils, en altres casos aquestes preguntes esdevenien un aspecte limitant. Com es pot veure a la Figura 13, en alguns casos les bastides proposades a l'alumnat no s'adequaven a les necessitats de la investigació (p. ex. a la Figura 13 la pregunta "què canviaràs?" està en blanc perquè sembla que la recerca dissenyada no busca manipular variables), en d'altres la bastida no es prou comprensible (p. ex. la resposta que mostra l'alumnat a "Alguna cosa on analitzar les dades- un referent, una escala..." no té a veure amb el tipus de pensament que es buscava generar...).

**TÍTOL DE LA INVESTIGACIÓ:** Pati sorra. L'aire de la nostra escola.

**QUÈ VULL SABER?** Quina pregunta volem respondre?  
Quanta contaminació hi ha al pati.

**QUÈ TINC?** Què pensem que farem servir per l'experiment?  
 Alguns cosa **PRODUÏX** la mostra (FONT)  
La sorra.  
 Alguns cosa per **RECOLLIR** la MOSTRA  
21 cartolines amb vaselina.  
 Alguns cosa per **OBTENIR** les dades (Observar, mesurar...)  
Cartolina quadriculada.  
 Alguns cosa on **ANALITZAR** les DADES (un referent, una escala...)  
La mostra.

**QUÈ FAIG?** Quins passos seguirem per fer la investigació?  
**Què/Qui PRODUIRÀ la mostra?**  
La sorra i els ners.  
**Amb què RECOLLIRÀS la mostra?**  
Amb la cartolina quadriculada amb vaselina en mig del pati.  
**Què vigilaràs que TOTA L'ESTONA SIGUI IGUAL?**  
El mateix lloc, la postura, l'hora.  
**Què CANVIARÀS?**  
**Què MESURARÀS**  
La quantitat de partícules que s'han enganxat.  
**Com ANALITZARÀS les dades?**  
Utilitzarem la lupa de gran tamany.

*Figura 13. Exemple de l'apartat de planificació de l'eina de bastida PaPER del prototip 2 utilitzada per l'alumnat. En ella es poden identificar algunes de les problemàtiques principals d'aquesta eina, per exemple, que les bastides proposades per guiar a cadascun dels processos de disseny d'una indagació no sempre són adequats per l'alumnat ja que: hi ha preguntes que no són necessàries per a l'experiment proposat (p.ex. què canviaràs?), idees que no són comprensibles per l'alumnat (p.ex. alguna cosa on analitzar les dades...)*

L'anàlisi de les gravacions de l'alumnat fent servir l'eina PaPER a l'inici de la fase d'obtenció de resultats i elaboració de conclusions, també ens ha permès observar que part de l'alumnat participant té dificultats a l'hora d'identificar o recordar quines són les dades recollides com a part de la seva recerca així com les característiques principals del context de recollida que són importants per poder extreure resultats i conclusions d'aquestes (p.ex. lloc on s'ha col·locat, fonts de contaminació pròximes...).

Tenint en compte les dificultats identificades s'han proposat dos canvis principals a l'eina PaPER. En primer lloc, eliminar les bastides intermèdies, però mantenint algun tipus de bastida en forma de preguntes-guia del procés de disseny d'una recerca al costat dels títols de cada apartat per aquell alumnat que ho necessiti. I, en segon lloc, incloure a la plantilla un apartat extra anomenat "Dades recollides" que ajudi a l'alumnat a parlar i recordar quines han estat les dades recollides i les seves característiques principals.

Els canvis anteriors s'han presentat i discutit amb docents participants. Com a resultat d'aquesta discussió s'ha incorporat al prototip 3 d'aquesta eina el primer dels canvis proposats, és a dir, s'han eliminat les bastides intermèdies incorporant en el seu lloc algunes preguntes guia amb un caràcter menys prescriptiu per a l'alumnat. No ha succeït el mateix però, amb la proposta d'incorporar un apartat de "Dades recollides". En la discussió amb els docents la majoria d'ells han manifestat que no creien necessari la incorporació d'aquest apartat ja que es podria solapar amb algunes de les estratègies que fan servir pel treball en grup com per exemple els diaris de camp. És per aquest motiu que finalment, s'ha decidit no incorporar aquest apartat a l'eina, però sí apuntar a la guia docent i a les formacions derivades que s'han fet la necessitat que l'alumnat recordi les dades que recollirà i les principals característiques del context de recollida abans

d'involucrar-se en la obtenció de resultats i conclusions. La Figura 14 mostra l'apartat de planificació del prototip 3 de l'eina didàctica de bastida PaPER. L'eina completa forma part de l'article 1.2. d'aquesta tesi ([enllaç](#)).

<p><b>QUÈ VULL INVESTIGAR?</b> Aquesta ha de ser una pregunta investigable: que ens ajudi a saber més coses del problema plantejat, que no es pugui resoldre buscant a internet sinó que hageu de recollir dades per respondre-la, que no es pugui respondre amb sí o no, que hageu de recollir dades amb el material i les dades que teniu. Per això ha de ser el més concreta possible i ha de relacionar diverses variables.</p> <p><i>* Omple aquest apartat incorporant aquells canvis que consideres necessaris després de parlar amb el teu/teva mestre/a</i></p>	
<p><b>QUÈ NECESSITO?</b> Quins materials necessito per fer la investigació? Com podríem recollir la contaminació? Com podríem mirar la contaminació que hem recollit?</p>	<p><b>QUÈ FAIG?</b> Quins passos seguirem per fer la investigació? Quan ho farem? On ho col·locarem? Quant de temps ho deixarem? Com ens assegurarem de sempre fer-ho igual? Què compararem amb què? Quantes vegades ho farem?</p> <p><i>* Omple aquest apartat incorporant aquells canvis que consideres necessaris després de parlar amb el teu/teva mestre/a</i></p>

**Figura 14.** Fragment de l'eina de bastida PaPER corresponent a la fase de planificació en el prototip 3. En ella s'observa com les bastides intermèdies s'han eliminat i s'han incorporat algunes preguntes guia en cadascun dels processos per guiar aquell alumnat o grups que els necessitin.

L'anàlisi de la productivitat de l'eina PaPER al prototip 3 (Figura 14), és a dir un cop incorporats els canvis de la taula anterior, ha buscat anar més enllà del context pròxim d'implementació i s'ha centrat en conèixer la possible transferibilitat i aplicabilitat d'aquesta eina en altres contextos (p.ex. altres escoles, altres cursos...). Per a això s'ha presentat i utilitzat l'eina PaPER dissenyada en diverses formacions docents i s'han recollit les opinions de docents d'infantil i primària participant en aquestes però no directament implicats en el procés de disseny i implementació de la SEA/DI. Per fer-ho s'ha creat un qüestionari ad-hoc amb aquest objectiu ([enllaç](#)) que s'ha implementat en les formacions per a docents en actiu relacionades amb el 7é i 8é Congrés de Ciència de la ciutat de Barcelona organitzat pel consorci d'educació de Barcelona els cursos 2018-19 i 19-20.

Tal com es pot veure als exemples de docents no participants en el disseny i/o implementació de la SEA però assistents a formacions sobre la competència de recerca de l'alumnat que es recullen a continuació, en general les respostes rebudes al qüestionari posen de manifest una valoració positiva de la productivitat de l'eina.

*"[L'eina de bastida PaPER] m'ha semblat molt pràctica i perfectament aplicable a l'aula! (Docent no participant\_4)*

*"[L'eina de bastida PaPER] la trobo correcta, potser incorporaria com han de pensar per fer la divulgació o la presentació en públic" (Docent no participant\_3)*

*"[L'eina de bastida PaPER em sembla] Molt útil! El que crec que és més útil és que [els docents] la tinguem al cap i la dominem molt per poder guiar la feina que s'ha de fer amb l'alumnat. Jo crec*

*que no ha de tenir cabuda anar consultant la plantilla en el moment de treballar amb l'alumnat”  
(Docent no participant\_1)*

Més enllà dels aspectes anteriors, un altre indicador que ens ha permès analitzar la qualitat de la proposta en termes de la productivitat al llarg de tot el procés i els prototips ha estat l'ús que s'ha fet tant de l'eina de bastida PaPER (Tena & Couso, 2020) com del prototip 3 la SEA/DI (Tena, 2021) després de la seva publicació definitiva en format articles.

Els resultats en tots dos casos són positius ja que, per exemple, l'eina de bastida PaPER ha estat utilitzada per docents en contextos diferents al de la contaminació de l'aire proposat (Lorenzo, 2021). A més a més, en el cas de la SEA/DI, algunes de les escoles on s'han implementat els diversos prototips han incorporat l'última versió de la SEA/DI com a part de la seva programació habitual de manera que segueixen implementant-la al cicle superior de primària.

L'últim indicador que ens ha permès avaluar la productivitat dels diferents prototips de la SEA/DI han estat el nombre consultes i descàrregues d'aquests. Tal com es pot veure a la taula següent (Taula 7), el prototip 2: Projecte ParticipAire té més de 4000 consultes i descàrregues i, el prototip 3: Microxarxa Escola respira té gairebé 800 consultes i més de 400 descàrregues.

*Taula 7. Data de publicació, nombre de consultes i de descàrregues dels diferents prototips de la SEA/DI dissenyats i implementats. Data de consulta de les dades: 23/04/22*

Prototip	Data de publicació	Nombre de consultes (data de consulta 02/08/22)	Nombre de descàrregues (data de consulta 02/08/22)
<b>Prototip 1:</b> Projecte Croma 2.0 (curs 2018-19)	Publicat en obert el 13/09/2021	93	46
<b>Prototip 2:</b> Projecte ParticipAire (curs 2018-19)	Publicat en obert el 15/01/19	4724	4323
<b>Prototip 3:</b> Microxarxa Escola Respira (curs 2019-20)	Publicat en obert el 19/06/2020	863	466
<b>Prototip 4:</b> Projecte volem ser científiques i enginyeres (curs 2021-22)	Publicat en obert el 20/6/2022	50	20

## 5.3. AVALUACIÓ DE LA QUALITAT DE LA SEA/DI EN TERMES DE CONFIABILITAT (ESTUDIS 2 I 3)

### 5.3.1. PRESENTACIÓ DELS ESTUDIS SOBRE LA QUALITAT DE LA SEA/DI EN TERMES DE CONFIABILITAT (ESTUDIS 2 I 3)

L'objectiu principal d'aquest apartat és analitzar iterativament la confiabilitat d'una seqüència didàctica (SEA/DI) contextualitzada en el problema de la contaminació atmosfèrica per alumnat de cycle superior de primària (10-12 anys) que faci evolucionar tant les idees d'estructura i de natura del model corpuscular de matèria del alumnat com les seves destreses pel disseny de preguntes científicament investigables (**OE2.2.**).

Per analitzar la confiabilitat de la SEA/DI en termes d'assoliment dels objectius d'aprenentatge s'ha analitzat, en primer lloc, l'evolució de l'alumnat en el domini de les idees del model corpuscular de matèria aplicades als fenòmens de l'aire net i contaminat; i, en segon lloc, l'evolució de l'alumnat en la habilitat de dissenyar preguntes científicament investigables lligades al fenomen de la contaminació al voltant de la seva escola. Cadascun dels focus anteriors constitueixen un estudi dins d'aquesta secció (estudis 2 i 3 respectivament).

En particular, les preguntes de recerca de l'estudi 2 són:

**P.2.1.** Com evolucionen les idees d'estructura i natura de la matèria (aplicades als fenòmens d'aire net i l'aire contaminat) que representa l'alumnat de cycle superior de primària a l'inici i al final d'una SEA/DI?

**P.2.2.** Quin seria un model científic apropiat per a l'alumnat de cycle superior de primària respecte a les idees d'estructura i natura de la matèria aplicades als fenòmens d'aire net i l'aire contaminat?

I les preguntes de recerca de l'estudi 3 són:

**P.3.1.** Com evoluciona la investigabilitat de les preguntes que dissenya l'alumnat de cycle superior de primària per investigar el fenomen de l'aire contaminat a la seva escola amb l'ús de diferents estratègies didàctiques?

**P.3.2.** Quina és la progressió d'aprenentatge empírica de l'alumnat de cycle superior de primària per a la habilitat de dissenyar preguntes científiques investigables?

Tot i distingir dos estudis de recerca en l'avaluació de la confiabilitat, ambdós estudis s'emmarquen en un context d'intervenció educativa comú: una seqüència d'ensenyament aprenentatge (SEA/DI) per treballar amb alumnat del cycle superior de primària la contaminació atmosfèrica. Aquesta s'ha dissenyat, implementat i avaluat iterativament tal com s'ha explicat a la secció 4 d'aquesta tesi ([enllaç](#)). Concretament, la SEA/DI implementada i les dades recollides, tractades i analitzades per a l'anàlisi de la confiabilitat es corresponen a una intervenció educativa que a la secció anterior (secció 4, [enllaç](#)) hem identificat com a Prototip 3 de la SEA/DI, realitzada en el context del projecte Microxarxa Escola Respira i implementat durant el curs 2019-2020 ([enllaç](#)). Cal remarcar, però, que els prototips que el precedeixen (prototips 1 i 2, també detallats a la secció 4 d'aquesta tesi doctoral) i les dades recollides i analitzades a les recerques prèvies (Tena i Couso, 2019; Tena i Couso, 2020; Solé et al. 2020) han estat clau tant pel disseny de les activitats d'aquesta SEA/DI, com per a la construcció dels sistemes de



categories, el pilotatge i la validació dels instruments i les estratègies de recollida i anàlisi de dades que forment part dels dos estudis sobre confiabilitat.

En tractar-se d'una avaluació de prototips finals ja millorats en base a la anàlisi previ de qualitat de les fases 1 i 2, s'ha optat per una avaluació de caire més sistemàtic i profund. S'han utilitzat estratègies concretes de garantia de la fiabilitat (per exemple, recollida de dades més controlada o triangulació entre investigadors o en el temps) tot buscant la concreció d'un prototip final de SEA/DI (prototip 4, [enllaç](#)) i que els resultats obtinguts permetin fer aportacions fiables als principis i eines de disseny.

És per aquest motiu que abans d'abordar cadascun dels estudis sobre la confiabilitat de la SEA/DI s'aprofundeix en els aspectes comuns a tots dos: el disseny i planificació de la intervenció i els participants.

Tal com s'explica a continuació amb més detall, tant per a l'anàlisi de l'evolució de les idees dels estudiants respecte el model corpuscular de matèria aplicades als fenòmens de l'aire net i contaminat (Estudi 2, [enllaç](#)), com per a l'anàlisi de la millora de la pràctica científica de dissenyar preguntes investigables (Estudi 3, [enllaç](#)), s'han recollit produccions d'algunes de les activitats clau de la mateixa SEA/DI (Prototip 3, [enllaç](#)). Posteriorment, aquestes dades s'han analitzat des d'una aproximació metodològica qualitativa interpretativa centrada en l'anàlisi del discurs multimodal (Márquez et al., 2006). En quant a la representació i anàlisi comparatiu de les dades, s'han integrat quan ha estat necessari estratègies pròpies de la metodologia quantitativa (p. ex. anàlisi de concurrències) per poder donar compte de la complexitat dels fenòmens analitzats.

Els principals productes d'aquesta secció han estat dos articles de recerca (article 2 i 3), un per a cadascun dels estudis (estudis 2 i 3 respectivament), que inclouen els sistemes de dimensions i categories finals així com els principals resultats obtinguts. Específicament els articles derivats de cadascun dels estudis són els següents:

- **ARTICLE 2.** Tena, È. & Couso, D. (2021) What Is City Air Made of? An Analysis of Pupils' Conceptions of Clean and Polluted Air. In: Levrini O., Tasquier G., Amin T.G., Branchetti L., Levin M. (eds) *Engaging with Contemporary Challenges through Science Education Research. Contributions from Science Education Research*, vol 9. Springer, Cham. [https://doi-org.are.uab.cat/10.1007/978-3-030-74490-8\\_11](https://doi-org.are.uab.cat/10.1007/978-3-030-74490-8_11)

Aquest capítol de llibre de l'editorial Springer forma part de l'estudi 2 i respon a les preguntes investigables 2.1 i 2.2 relacionades amb l'anàlisi de la confiabilitat en termes de l'aprenentatge del model corpuscular de la matèria. En aquest, s'analitzen les representacions i descripcions de l'alumnat sobre l'estructura i natura de la matèria per explicar els fenòmens de l'aire net i l'aire contaminat a l'incici i al final de la SEA/DI ([enllaç](#)).

- **ARTICLE 3.** Tena, È i Couso, D. (acceptado, en prensa) El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria. Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación experiencias didácticas. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5573>

Aquest article forma part de l'estudi 3 i respon a les preguntes 3.1 i 3.2 lligades a l'anàlisi de la confiabilitat en termes de l'habilitat de dissenyar preguntes científicament investigables. En ell s'analitza com evolucionen els dissenys de preguntes investigables elaborades per l'alumnat amb l'ús de diferents estratègies didàctiques, i es proposa una

progressió d'aprenentatge empírica que descriu el grau de sofisticació d'aquestes preguntes ([enllaç](#)).

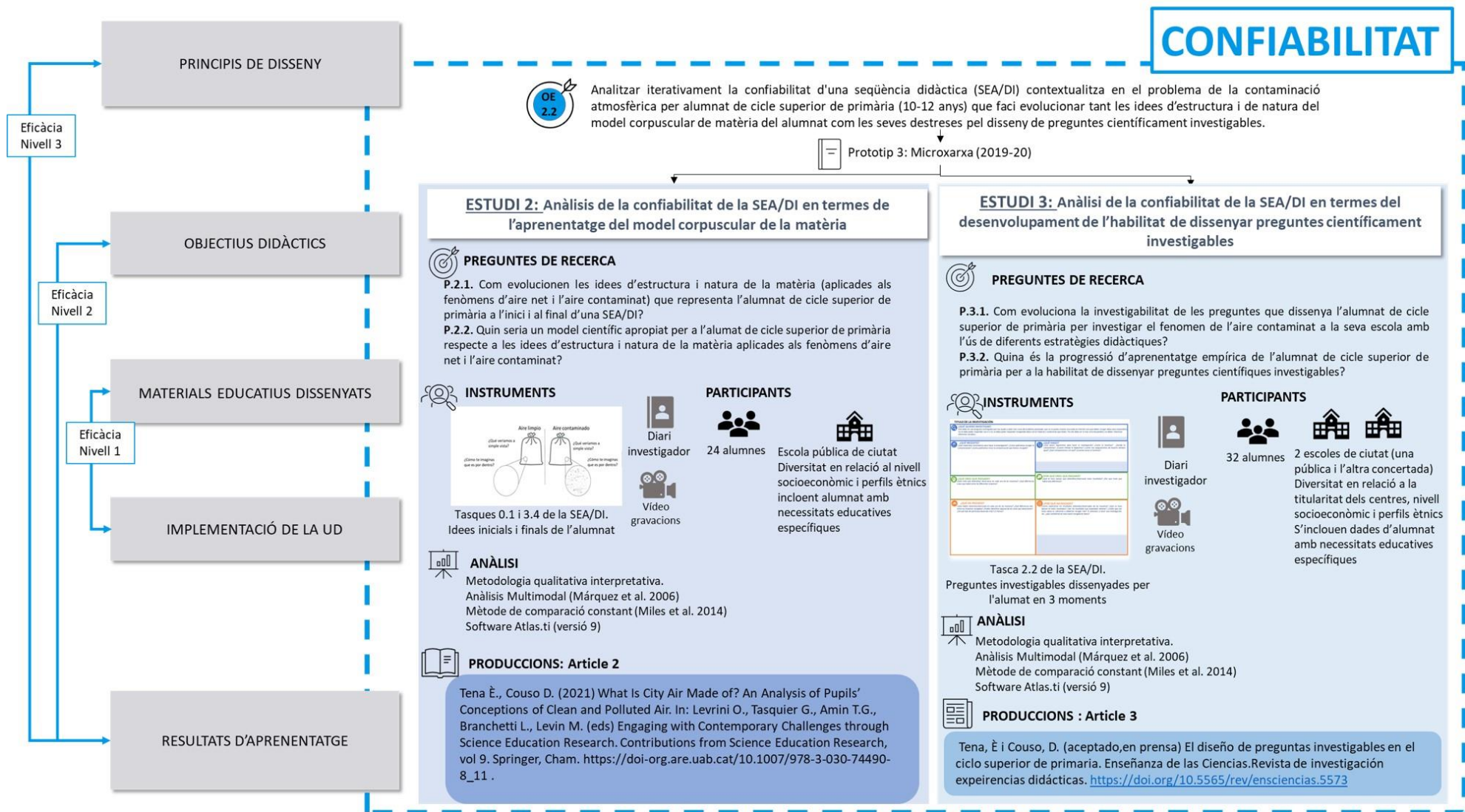
Els resultats i conclusions obtinguts en les dues publicacions anteriors han estat clau per a poder avaluar en profunditat el que a la nostra proposta de marc teòric i metodològic per a l'avaluació de la qualitat de les SEA/DI hem anomenat confiabilitat. És a dir, el grau amb el qual es pot confiar en el disseny plantejat (objectius d'aprenentatge i material educatiu dissenyat) perquè la seva implementació és fidedigna, els resultats d'aprenentatge són els esperats i es reforcen empíricament els principis de disseny en els que es basa. Especialment, els resultats obtinguts en aquesta secció han permès avaluar el grau d'eficàcia nivell 2 o dels resultats (és a dir, fins a quin punt els resultats d'aprenentatge proven que es compleixen els objectius que es persegueixen) i el grau d'eficàcia nivell 3 o de les teories (és a dir, fins a quin punt els resultats d'aprenentatge reforcen empíricament els principis de disseny en què es basa la proposta).

L'avaluació de la confiabilitat ha estat clau per identificar alguns dels aspectes a millorar de la SEA/DI que han provocat canvis al prototip 4 (prototip final, [enllaç](#)). Un exemple d'això és la incorporació d'una activitat específica per a construir amb l'alumnat de primària la idea d'aire net i contaminat com a una substància que a nivell meso/submicroscòpic el podem imaginar com a parts/partícules de diferent naturalesa. Aquesta activitat s'ha incorporat després d'analitzar les produccions de l'alumnat sobre l'aire net (resultats de l'article 2, [enllaç](#)) i observar que els resultats obtinguts no eren els esperats.

A més a més, l'anàlisi de la confiabilitat de la SEA/DI en termes de la eficàcia nivell 3 o de la teoria, ens ha permès tant reforçar algunes idees apuntades per la literatura (p.ex. la importància del treball en la mesoescala destacada per Meijer (2011)) com fer aportacions a marcs existents (p.ex. dissenyant una progressió empírica a partir dels resultats de disseny de preguntes investigables al cicle superior de primària).

Així, en un primer moment en aquesta secció s'aprofundeix en el context comú dels dos estudis (la planificació del disseny de la SEA/DI i en la planificació de la intervenció). A continuació, es descriu la recollida de dades, anàlisi i resultats de cadascun dels estudis per separat: l'estudi 2 relacionat amb l'aprenentatge del model corpuscular de la matèria ([enllaç](#)) i l'estudi 3 relacionat amb l'aprenentatge de l'habilitat de dissenyar preguntes investigables ([enllaç](#)). Per últim, partint de la discussió dels resultats obtinguts en els dos estudis anteriors, s'avalua la qualitat de la SEA/DI dissenyada en termes de confiabilitat i s'identifiquen possibles millores pel prototip 3 ([enllaç](#)) que s'han incorporat a prototip 4 ([enllaç](#)).

L'estructura d'aquesta secció ha quedat resumida a la Figura 15. En aquesta, es poden trobar els objectius i context comú així com una descripció dels aspectes dels dos estudis que la conformen principals (preguntes, instruments, tipus d'anàlisi i produccions). A més a més, a la part esquerra de la figura s'estableix una relació entre els diferents apartats de la recerca i el marc d'avaluació utilitzat.



## 5.3.2. CONTEXT DE RECERCA DELS ESTUDIS SOBRE LA QUALITAT DE LA SEA/DI EN TERMES DE CONFIABILITAT (ESTUDIS 2 I 3)

### 5.3.2.1. DISSENY I PLANIFICACIÓ DE LA INTERVENCIÓ EDUCATIVA

---

Tal com s'ha comentat a la introducció dels estudis sobre la confiabilitat (estudis 2 i 3), les dades recollides per a la seva anàlisi formen part del disseny i implementació del prototip de SEA/DI que a la secció 4 ([enllaç](#)) s'ha identificat com a prototip 3: Microxarxa. La descripció detallada dels principis de disseny en els que es basa aquesta SEA/DI, les activitats clau, els suports per a l'alumnat i les respostes més habituals d'aquests formen part de l'article 1.1. d'aquesta tesi anomenat: "¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primaria" ([enllaç](#)).


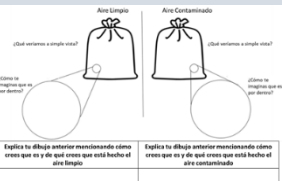
D'acord amb les idees exposades a l'article anterior, aquesta SEA/DI té un doble objectiu: d'una banda, busca millorar les idees de estructura i natura de la matèria que té l'alumnat del cicle superior de primària (10-12 anys) a partir de l'estudi del fenomen de l'aire net i l'aire contaminat. D'altra banda, vol millorar les destreses d'indagació de l'alumnat amb un especial interès vers les preguntes científicament investigables que aquests dissenyen en el context d'una recerca genuïna semioberta al voltant de la contaminació de l'aire de la seva escola.

Per fer-ho, la SEA/DI proposa involucrar a l'alumnat en un seguit d'activitats tant d'indagació basada en la modelització -IBM- (A. Adúriz-Bravo, 2021; López-Banet et al., 2021) com de modelització basada en la indagació -MBI- (Couso & Garrido-Espeja, 2017; Schwarz & Gwekwerere, 2006; Windschitl et al., 2008). Aquestes activitats han estat seqüenciades tenint en compte les propostes del cicle de modelització (Couso, 2020 basat en Couso & Garrido-Espeja, 2017) i d'indagació (Jiménez-Liso, 2020), propostes alhora coherents amb el cicle d'aprenentatge clàssic de Jorba i Sanmartí (1994).

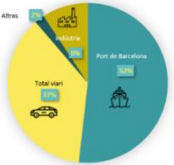
La SEA/DI té una durada total de 8h de classe. El material complet (material per a l'alumnat, pels docents i altres recursos) es pot consultar en obert ([enllaç al material](#)).

A la taula següent (Taula 8) es descriuen breument les activitats, la seva relació amb les idees clau que es volen construir i les diferents fases del cicle d'aprenentatge, modelització i indagació amb què es relacionen. Amb el fons blau clar s'identifiquen, d'una banda, les idees de la SEA/DI considerades més rellevants i, d'altra banda, les activitats en què s'han recollit les produccions de l'alumnat per a la seva anàlisi. Aquestes produccions de l'alumnat formen les dades principals dels diferents estudis relacionats amb l'anàlisi de la confiabilitat tal com expliquem amb més detall a l'apartat de recollida de dades de cadascun d'ells (recollida de dades de l'estudi 2 -[enllaç](#)- i de l'estudi 3 -[enllaç](#)).

**Taula 8.** Esquema de la SEA/DI (Prototip 3: Microxarxa curs 2019-2020), context en què s'han recollit les dades sobre la confiabilitat (estudis 2 i 3). A la primer columna es descriuen les idees clau que es volen construir, a la següents columnes es descriuen breument les activitats plantejades, el temps estimat de realització i les tasques que les formen. A les tres últimes columnes les fases del cicle d'aprenentatge (Jorba i Sanmartí 1994; en groc), les demandes d'aprenentatge del cicle de modelització (Couso, 2020; en verd) i les demandes d'aprenentatge del cicle d'indagació (Jiménez-Liso, 2020; en taronja) amb les que es relacionen. Les idees amb el fons blau (2.1. i 2.2.) identifiquen aquelles idees considerades més rellevants de la SEA/DI. En el cas de les activitats amb el fons color blau fosc (0.1, 2.2. i 3.4) identifiquen aquelles activitats en què s'han recollit les dades que formen part de les publicacions d'aquest estudi.

Idea que es vol construir	Activitat (temps estimat de realització)	Descripció de l'activitat	Fase del Cicle d'aprenentatge (Jorba i Sanmartí, 1994)	Demandes d'aprenentatge del Cicle de Modelització (Couso, 2020)	Demandes d'aprenentatge del Cicle d'Indagació (Jiménez-Liso, 2020)
Idees 1, 2, 3 i 4	Activitat d' introducció (45min)	 <p>Es presenta a través d'un vídeo l'equip investigador i la problemàtica de la contaminació atmosfèrica en general. A continuació, es plantegen de les dues preguntes problematitzades que guiaran la SEA/DI: "Ens ajudeu a conèixer la qualitat de l'aire que envolta la vostra escola? I a trobar possibles solucions per reduir la contaminació atmosfèrica?".</p>	Exploració		Pregunta que enganxi
		 <p><b>TASCA 0.1.</b> Es demana que l'alumnat individualment expressi de manera multimodal (dibuixant i escrivint) les seves idees inicials sobre com s'imaginen l'aire net i l'aire contaminat si el miréssim a ull nu (visió macro) i si el poguéssim veure per dins (visió micro/meso).</p>		Sol·licitar la expressió del model inicial	
		<p><b>TASCA 0.2.</b> Es pregunta a l'alumnat quin dels aires que ha dibuixat a l'activitat anterior (net o contaminat) creu que s'assembla més a l'aire de la seva escola i que justifiqui la resposta argumentant què el fa pensar això.</p> <p><b>TASCA 0.3.</b> Es pregunta a l'alumnat com creu que li pot afectar a la salut d'una persona viure en un lloc amb l'aire contaminat.</p>			

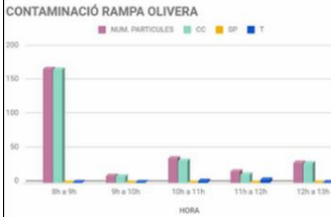


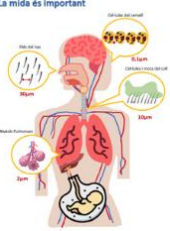
<p><b>IDEA 1. FONTS DE CONTAMINACIÓ:</b> A les ciutats hi ha diferents elements que contaminen l'aire. La majoria de les fonts de contaminació estan relacionades amb activitats humanes (p.ex. transit, fàbriques, port...).</p>	<p>Activitat de fonts de contaminació (1h)</p>	<p><b>TASCA 1.1.</b> Es presenta a l'alumnat dues imatges de la ciutat de Barcelona fetes des del mateix lloc. Una d'un dia amb un episodi de contaminació declarat en la que es pot veure una "boira" gris i una altra on no s'observa aquesta "boira" de contaminació. A continuació, es demana que en gran grup exposin quines són les principals diferències observades, a què creuen que es deuen, quines creuen que poden ser les causes principals...</p> <p><b>TASCA 1.2.</b> En un mapa d'una ciutat fictícia es demana a l'alumet que en grups reduïts identifiqui aquells elements que creuen que poden contaminar l'aire i aquells que creuen poden ajudar a reduir-la.</p> <p></p> <p><b>TASCA 1.3.</b> Es presenta a l'alumnat una gràfica amb dades reals adaptades de l'origen de la contaminació de l'aire a la ciutat de Barcelona entre els anys 2015-18. Es demana que l'analitzin i reflexionin sobre les similituds i diferències que creuen que hi hauria amb un gràfic del seu barri/ciutat tot tenint en compte les característiques d'aquest emplaçament. A més a més, també es demana que mirant el gràfic revisin les fonts de contaminació que han identificat al mapa de l'activitat 1.2.</p> <p><b>POSADA EN COMÚ:</b> En gran grup es comparteixen i comparen les idees dels diferents grups amb l'objectiu d'arribar a un consens al voltant de la idea de font de contaminació com el nom que reben els elements que contaminen l'aire, i la contribució que cadascuna de les fonts de contaminació fa a contaminació atmosfèrica.</p>	<p>Introducció/ Emergència de Coneixement</p>	<p>Problematitzar</p> <p>Ajudar a posar a prova el model</p> <p>Promoure l'emergència de nous punts de vista</p> <p>Facilitat l'estructuració de les idees en un model final consensuat</p>	
<p><b>IDEA 2.1. AIRE:</b> L'aire del nostre entorn és matèria. A nivell macroscòpic</p>	<p>Activitat de familiarització amb el sensor (15)</p>	<p><b>TASCA 1.4. i 1.5.</b> Es mostra a l'alumnat a través d'un vídeo la manera com les persones que es dediquen a la ciència de forma professional recullen dades sobre la contaminació atmosfèrica a les ciutats. A continuació es dona un filtre professional a cadascun dels grups i es demana que dibuixin què veuen a ull nu i amb ajuda de la lupa digital.</p>		<p>Activitat de familiarització amb l'instrument tecnològic d'anàlisi de les dades...</p>	




<p>aquest té unes propietats (ocupa un volum...) i a nivell meso/submicroscòpic el podem imaginar com a parts/partícules.</p> <p><b>IDEA 2.2. CONTAMINANT I CONTAMINACIÓ PER PM:</b> La contaminació per PM es deu a l'existència en l'aire de substàncies sòlides en suspensió (p.ex. pols o sutge), les quals no sempre es poden veure a simple vista, però sí utilitzant una lupa binocular. Al contrari, les partícules més petites o submicroscòpiques, com els àtoms i/o molècules que formen l'aire (p.ex. O2) no es poden</p>	<b>Activitat de recerca de la contaminació a l' escola (3h)</b>	<p><b>TASCA 2.1.</b> Es planteja a l'alumnat un seguit de preguntes que tenen com a objectiu l'expressió de les seves idees inicials en relació amb les fonts de contaminació i factors que creuen que poden tenir efecte sobre la qualitat de l'aire de l'escola (p. ex. horaris...). A més a més, també se'ls pregunta com ho farien per investigar la contaminació de l'escola. Aquestes preguntes es responen primer individualment, després en petit grup i per últim en gran grup en una posada en comú.</p> <table border="1" data-bbox="607 448 1234 772"> <tr> <td colspan="2" data-bbox="607 448 1234 470"><b>TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="607 470 1234 523"><b>¿QUÉ QUIERO INVESTIGAR?</b> Esta debe ser una pregunta investigable que nos ayude a saber más cosas del problema planteado; que no se pueda resolver buscando en internet sino que deben recoger datos para responderla, no se debe poder responder con sí o no, se debe poder responder recogiendo datos con el material y condiciones que tenéis. Por lo lo debe ser lo más concreta posible y se deben relacionar diferentes variables.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="607 523 904 592"><b>¿QUÉ NECESITO?</b> ¿Qué materiales necesitamos para hacer la investigación? ¿Cómo podríamos recoger la contaminación? ¿Cómo podríamos medir la contaminación que hemos recogido?</td> <td data-bbox="904 523 1234 592"><b>¿QUÉ HARÉ?</b> ¿Qué pasos seguiremos para hacer la investigación? ¿Cómo lo haremos? ¿Dónde lo colocaremos? ¿Cuanto tiempo lo dejaremos? ¿Como nos aseguraremos de hacerlo siempre igual? ¿Qué compararemos con qué? ¿Cuántas veces lo haremos?</td> </tr> <tr> <td data-bbox="607 592 904 660"><b>¿QUÉ CREO QUE PASSARÀ?</b> ¿Qué creen que obtendrán/observarán en cada una de las muestras? ¿Qué diferencias creen que habrá entre las diferentes muestras?</td> <td data-bbox="904 592 1234 660"><b>¿POR QUÉ CREO QUE PASSARÀ?</b> ¿Qué te hace pensar que obtendrás/observarás estos resultados? ¿Por qué crees que habrá esta diferencia?</td> </tr> <tr> <td data-bbox="607 660 904 772"><b>¿QUÉ HA PASSADO?</b> ¿Qué habéis obtenido/observado en cada una de las muestras? ¿Qué diferencias veis entre las muestras recogidas? ¿Podéis identificar algunas de las cosas que observáis? ¿De qué tipo de partículas observáis más? ¿Y menos?</td> <td data-bbox="904 660 1234 772"><b>¿POR QUÉ HA PASSADO?</b> ¿Cómo explicaríais los resultados obtenidos/observados de las muestras? ¿Qué os hace pensar en estos resultados? ¿Con los resultados que esperabais obtener? ¿Crees que con estos datos es suficiente o deberíais recoger más? Si volvíais a hacer una investigación, etc. ¿qué cambiaríais en esta nueva recogida de datos?</td> </tr> </table> <p>permeti obtenir dades sobre la qualitat de l'aire al voltant de la seva escola. Per fer-ho se'ls proporciona la plantilla bastida PaPER (Tena &amp; Couso, 2020; Article 1.2.-<a href="#">enllaç</a>-) que estructura les diferents fases de la recerca i apunta criteris específics per a cadascuna de les fases. En aquesta primera fase, l'alumnat ha de dissenyar una pregunta investigable, identificar els instruments i procediments necessaris, fer una predicció dels resultats i justificar-la basant-se en les seves idees. A banda de la plantilla PaPER, al llarg del procés l'alumnat també utilitza altres bastides, per exemple, una base d'orientació pel disseny de preguntes investigables (Tena, 2021; Article 1.1) i va rebent feedback ajustat per part del docent. En diferents moments del procés també es fan posades en comú amb tot el grup classe que permeten a l'alumnat compartir les seves preguntes investigables, idees sobre la planificació, que es contrastin prediccions... i rebre feedback dels companys. El procés de</p>	<b>TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:</b>		<b>¿QUÉ QUIERO INVESTIGAR?</b> Esta debe ser una pregunta investigable que nos ayude a saber más cosas del problema planteado; que no se pueda resolver buscando en internet sino que deben recoger datos para responderla, no se debe poder responder con sí o no, se debe poder responder recogiendo datos con el material y condiciones que tenéis. Por lo lo debe ser lo más concreta posible y se deben relacionar diferentes variables.		<b>¿QUÉ NECESITO?</b> ¿Qué materiales necesitamos para hacer la investigación? ¿Cómo podríamos recoger la contaminación? ¿Cómo podríamos medir la contaminación que hemos recogido?	<b>¿QUÉ HARÉ?</b> ¿Qué pasos seguiremos para hacer la investigación? ¿Cómo lo haremos? ¿Dónde lo colocaremos? ¿Cuanto tiempo lo dejaremos? ¿Como nos aseguraremos de hacerlo siempre igual? ¿Qué compararemos con qué? ¿Cuántas veces lo haremos?	<b>¿QUÉ CREO QUE PASSARÀ?</b> ¿Qué creen que obtendrán/observarán en cada una de las muestras? ¿Qué diferencias creen que habrá entre las diferentes muestras?	<b>¿POR QUÉ CREO QUE PASSARÀ?</b> ¿Qué te hace pensar que obtendrás/observarás estos resultados? ¿Por qué crees que habrá esta diferencia?	<b>¿QUÉ HA PASSADO?</b> ¿Qué habéis obtenido/observado en cada una de las muestras? ¿Qué diferencias veis entre las muestras recogidas? ¿Podéis identificar algunas de las cosas que observáis? ¿De qué tipo de partículas observáis más? ¿Y menos?	<b>¿POR QUÉ HA PASSADO?</b> ¿Cómo explicaríais los resultados obtenidos/observados de las muestras? ¿Qué os hace pensar en estos resultados? ¿Con los resultados que esperabais obtener? ¿Crees que con estos datos es suficiente o deberíais recoger más? Si volvíais a hacer una investigación, etc. ¿qué cambiaríais en esta nueva recogida de datos?		Ajudar a posar a prova el model	<p>Expressió explícita d'idees, hipòtesis...</p> <p>Planificar, avaluar o desenvolupar un disseny per a obtenir proves</p>
<b>TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:</b>															
<b>¿QUÉ QUIERO INVESTIGAR?</b> Esta debe ser una pregunta investigable que nos ayude a saber más cosas del problema planteado; que no se pueda resolver buscando en internet sino que deben recoger datos para responderla, no se debe poder responder con sí o no, se debe poder responder recogiendo datos con el material y condiciones que tenéis. Por lo lo debe ser lo más concreta posible y se deben relacionar diferentes variables.															
<b>¿QUÉ NECESITO?</b> ¿Qué materiales necesitamos para hacer la investigación? ¿Cómo podríamos recoger la contaminación? ¿Cómo podríamos medir la contaminación que hemos recogido?	<b>¿QUÉ HARÉ?</b> ¿Qué pasos seguiremos para hacer la investigación? ¿Cómo lo haremos? ¿Dónde lo colocaremos? ¿Cuanto tiempo lo dejaremos? ¿Como nos aseguraremos de hacerlo siempre igual? ¿Qué compararemos con qué? ¿Cuántas veces lo haremos?														
<b>¿QUÉ CREO QUE PASSARÀ?</b> ¿Qué creen que obtendrán/observarán en cada una de las muestras? ¿Qué diferencias creen que habrá entre las diferentes muestras?	<b>¿POR QUÉ CREO QUE PASSARÀ?</b> ¿Qué te hace pensar que obtendrás/observarás estos resultados? ¿Por qué crees que habrá esta diferencia?														
<b>¿QUÉ HA PASSADO?</b> ¿Qué habéis obtenido/observado en cada una de las muestras? ¿Qué diferencias veis entre las muestras recogidas? ¿Podéis identificar algunas de las cosas que observáis? ¿De qué tipo de partículas observáis más? ¿Y menos?	<b>¿POR QUÉ HA PASSADO?</b> ¿Cómo explicaríais los resultados obtenidos/observados de las muestras? ¿Qué os hace pensar en estos resultados? ¿Con los resultados que esperabais obtener? ¿Crees que con estos datos es suficiente o deberíais recoger más? Si volvíais a hacer una investigación, etc. ¿qué cambiaríais en esta nueva recogida de datos?														

veure ni a simple vista ni amb aquest instrument.		<p>construcció de les preguntes investigables i els suports rebuts està explicat més àmpliament a l'article 3 d'aquest treball.</p>				
		<p>Es demana a l'alumnat que dugui a terme la investigació que ha planificat i que analitzi les dades obtingudes amb ajuda d'una lupa digital (p. ex. compti el número de partícules que observa...). També es demana que busqui una manera de representar i compartir les seves dades (p. ex. gràfics de barres, gràfics de densitat/color, taules...).</p> <p>Per ajudar a l'alumnat a sofisticar l'anàlisi inicial, sovint vinculada al comptatge, se'ls ofereix una guia d'anàlisi de mostres amb la que pot distingir tipologies de partícules gràcies a les seves característiques (<a href="#">enllaç</a> a la guia).</p>			Recopilar y expresar dades	Buscar proves que confirmen o refutin les idees inicials
		<p>Es demana a l'alumnat que tenint en compte les dades recollides i analitzades en el seu grup extregui algunes conclusions.</p> <p><b>POSADA EN COMÚ:</b> Les conclusions dels diferents grups es comparteixen amb la resta del grup classe tot fent èmfasi en la relació entre conclusions i disseny de l'experiment, factors analitzats... per intentar explicar tant les similituds com les diferències trobades.</p>		Promoure l'emergència de nous punts de vista	Obtenir conclusions y comunicar-les	
<p><b>TASCA 2.3</b> Es demana a l'alumnat que amb ajuda d'una lupa digital mesuri diverses partícules d'una mateixa tipologia (p. ex. tres partícules de sutge diferents) per construir la idea que es pot establir un rang de mesures de les diferents partícules i adonar-se que hi ha algunes tipologies de partícules (p. ex. les partícules de sutge) que són molt més petites que d'altres (p. ex. els fils o la sorra).</p>	Ajudar a posar a prova el model	Recopilar y expresar dades				



		<p><b>TASCA 2.4.</b> Es fa una representació a escala de diferents partícules mesoscòpiques perquè l'alumnat sigui conscient de la diferència de mesures entre aquestes i, per exemple, un cabell...</p>		Promoure l'emergència de nous punts de vista	Buscar proves que confirmen o refutin les idees inicials
		<p><b>POSADA EN COMÚ:</b> En gran grup es fa una posada en comú sobre les diferències en relació amb la mesura de les partícules mesoscòpiques i algunes submicroscòpiques com el CO<sub>2</sub>.</p>		Facilitat l'estructuració de les idees en un model final consensuat	Obtenir conclusions y comunicar-les
<p><b>IDEA 3. EFECTES EN LA SALUT HUMANA:</b> L'entrada de les partícules contaminades al cos humà pot causar alguns problemes de salut (p. ex. malalties respiratòries, desordres cognitius...). El cos humà té mecanismes immunitaris (p. ex. els mocs) per prevenir l'entrada dels contaminants al cos humà.</p>	<p><b>Activitat sobre els efectes en la salut (1h)</b></p>	<p><b>TASCA 3.1.</b> Es demana a l'alumnat que expressi explicant i dibuixant en una silueta del cos humà les seves idees inicials sobre com s'imagina que és el recorregut que fa una partícula de contaminació quan entra a l'interior del nostre cos.</p>		Sol·licitar la expressió del model inicial	
		<p>A continuació es proposa a l'alumnat veure un vídeo en què s'apunten els principals efectes de la contaminació en la salut dels humans.</p>		Promoure l'emergència de nous punts de vista	
		<p><small>La mida és important</small></p>  <p><b>TASCA 3.2.</b> Es planteja a l'alumnat en grups reduïts identificar el recorregut per l'interior del cos humà d'algunes de les partícules observades a les seves investigacions (p. ex. sutge, sorra...) així com els mecanismes d'immunitat passiva que té el propi cos per evitar la seva entrada (p. ex. pèls al nas, mocs, etc.). Es fa un especial èmfasi en la relació entre mesura i profunditat/afectació de la partícula en el cos. En acabar l'activitat per grups es planteja una posada en comú per compartir les principals idees construïdes amb l'activitat.</p>		Ajudar a posar a prova el model	
		<p><b>TASCA 3.3.</b> Es planteja a l'alumnat que, tenint en compte les idees treballades, revisi les seves pròpies idees inicials de l'activitat 3.1. i expressi el seu model final sobre el recorregut de diferents partícules contaminants dins del cos humà i la relació amb els efectes en la salut que poden tenir.</p>		Promoure l'emergència de nous punts de vista	

Idees 1, 2, 3 i 4	Activitat d' idees finals (45min)	 <p><b>TASCA 3.4.</b> Es demana que l'alumnat individualment expressi de manera multimodal (dibuixant i escrivint) les seves idees finals sobre l'aire net i l'aire contaminat si el miréssim a ull nu (visió macro) i si el poguéssim veure per dins (visió micro/meso) tenint en compte tot el que han après i treballat al llarg de la SEA/DI.</p> <p><b>TASCA 3.5.</b> Es pregunta a l'alumnat quin dels aires que ha dibuixat a l'activitat anterior (net o contaminat) creu que s'assembla més a l'aire de la seva escola i justifiqui la resposta tenint en compte l'experimentació feta i els resultats obtinguts.</p> <p><b>TASCA 3.6.</b> Es pregunta a l'alumnat com creu que li pot afectar a la salut d'una persona viure en un lloc amb l'aire contaminat tenint en compte el que s'ha treballat a la SEA/DI.</p>	Estructuració	Facilitat l'estructuració de les idees en un model final consensuat	
<p><b>IDEA 4.</b> <b>SOLUCIONS:</b> Nosaltres podem dur a terme diverses accions per reduir la presència de contaminants a l'aire i millorar la qualitat de l'aire de les nostres ciutats i escoles</p>	Activitat de proposta de solucions (1h i 15 min)	<p><b>TASCA 4.1.</b> Es mostra a l'alumnat diferents iniciatives que s'estan duent a terme per intentar reduir la contaminació de l'aire a les ciutats i se'l demana que en grups reduïts les comentin i reflexionin sobre la seva adequació. Es fa una posada en comú compartint les idees dels diferents grups sobre l'adequació, possibles problemes... de les diferents propostes de reducció de la contaminació analitzades.</p> <p><b>TASCA 4.2.</b> Es demana a l'alumnat que, tenint en compte les dades obtingudes sobre la contaminació a la pròpia escola i algunes de les propostes per disminuir la contaminació de l'aire a les ciutats, plantegi una proposta de mesura per reduir la contaminació a la seva escola.</p>	Aplicació	<p>Promoure l'emergència de nous punts de vista</p> <p>Facilitat l'estructuració de les idees en un model final consensuat</p> <p>Promoure l'aplicació i transferència d'un model consensuat</p>	

### 5.3.2.2. PARTICIPANTS

---



En total en el curs 2019-20 van iniciar la implementació de la SEA/DI 15 grups classe (342 alumnes i els seus respectius docents). D'entre tots els participants, se'n van triar 2 per fer un seguiment més exhaustiu de la implementació de la proposta.

Tant la selecció dels centres participants en general com la dels grups classe que van rebre un seguiment més exhaustiu respon a un criteri de conveniència (Miles et al., 2014). En el cas dels participants en general van ser els mateixos docents qui, a través de les direccions dels seus centres, van mostrar interès per formar part del projecte implementant la SEA/DI a les seves aules. Pel que fa a la selecció dels dos grups classe als què es va fer un seguiment més exhaustiu, sobretot es va tenir en compte la predisposició mostrada per alumnat, docents i famílies per a la recollida de les activitats a l'aula, la gravació de les classes i, especialment, per la facilitat de presència de la investigadora principal durant tot el procés d'implementació de la SEA/DI.

A més a més, per tal de garantir una certa diversitat en les dades i poder descartar certs biaixos, per a la selecció dels dos grups classe amb un seguiment més exhaustiu també es va tenir en compte la diversitat d'aquests respecte: la tipologia de centre, el perfil d'alumnat i famílies i la manera de treballar les ciències habitualment. Així, mentre una de les escoles (escola E1) és un centre públic amb famílies majoritàriament de nivell socioeconòmic mitjà-baix i amb una alta taxa de famílies d'origen migrant, l'escola 2 (E2) és un centre concertat amb famílies majoritàriament d'un nivell socioeconòmic mitjà-alt i d'origen autòcton. Pel que fa a les classes de ciències, a l'escola E1 l'enfocament de la indagació basada en la modelització era un plantejament totalment innovador i molt diferent de la manera habitual de treballar les ciències a l'aula, mentre que per a l'escola E2 la proposta de SEA/DI i la tipologia d'activitats que planteja era més pròxima a la manera a la manera habitual de treballar les ciències a l'aula.

Tot i les diferències entre ambdues escoles, en aquesta tesi s'analitzen i es mostren els resultats conjuntament. Aquesta decisió respon, d'una banda, al fet que no s'han trobat diferències especialment destacables en els resultats d'ambdues; i, d'altra banda, perquè no és objecte d'aquesta tesi estudiar els possibles factors que podrien explicar les diferències entre els grups, sinó mostrar la qualitat de la SEA/DI en contextos explícitament diversos.

**Taula 9.** Resum de les característiques principals de les escoles E1 i E2 en les que s'han recollit dades per a la investigació d'aquesta tesi, tipus de dades recollides i article de recerca al que es vinculen.

	 <b>ESCOLA 1 (E1)</b>	 <b>ESCOLA 2 (E2)</b>
<b>Titularitat de l'escola</b>	Pública	Concertada
<b>Nivell socioeconòmic general de les famílies</b>	Mitjà-Baix Bona part de les famílies migrants	Mitjà-Alt Bona part de les famílies autòctones
<b>Tipologia de classes de ciència</b>	Llunyana a la idea de ciència com a pràctica científica i força centrada en la transmissió dels productes de la ciència.	Propera a la necessitat d'involucrar a l'alumnat en el procés d'aprenentatge però sovint molt centrada en la cerca d'informació per internet...
<b>Dades principals recollides</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Idees inicials i finals sobre l'aire net i l'aire contaminat de l'alumnat (activitats 0.1. i 3.4 de la SEA/DI).</li> <li>• Dissenys de les preguntes investigables en tres moments de la instrucció (activitat 2.2. de la SEA/DI).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Idees inicials sobre l'aire net i l'aire contaminat de l'alumnat (activitats 0.1. i 3.4 de la SEA/DI).</li> <li>• Dissenys de les preguntes investigables en tres moments de la instrucció (activitat 2.2. de la SEA/DI)..</li> </ul>
<b>Dades secundàries recollides</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gravacions de les implementacions de la SEA/DI</li> <li>• Notes de la investigadora agafades durant la implementació de la SEA/DI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gravacions de les implementacions de la SEA/DI</li> <li>• Notes de la investigadora agafades durant la implementació de la SEA/DI</li> </ul>
<b>Articles</b>	Article 2 ( <a href="#">enllaç</a> ). Article 3 ( <a href="#">enllaç</a> )	Article 3 ( <a href="#">enllaç</a> )

Cal destacar que la recollida de dades per a l'anàlisi de la confiabilitat ha estat marcada per l'esclat de la pandèmia de la COVID-19 i el tancament dels centres educatius entre el març i setembre del 2019. Aquest fet ha provocat que dels grups classe que havien iniciat la implementació de la SEA/DI només uns pocs l'han pogut finalitzar tal com havia estat dissenyada. Tal com s'explica a l'apartat de recollida de dades dels diferents estudis, de tots els centres participants finalment només s'han pogut recollir i considerar dades analitzables per a aquesta tesi les produccions de centres on s'estava fent un seguiment més exhaustiu. Concretament, de l'escola E1 per a l'estudi 2 ([enllaç](#)) i de les escoles E1 i E2 per a l'estudi 3 ([enllaç](#)).



## 5.4. ESTUDI 2

### ANÀLISIS DE LA CONFIABILITAT DE LA SEA/DI EN TERMES DE L'APRENTATGE DEL MODEL CORPUSCULAR DE LA MATÈRIA

En aquest estudi 2 s'aprofundeix en l'anàlisi de la confiabilitat de la SEA/DI (prototip 3, [enllaç](#)) dissenyada en termes de l'aprenentatge del model corpuscular de la matèria. Concretament, les preguntes de recerca que guien aquest estudi són la següents:

- P.2.1.** Com evolucionen les idees d'estructura i natura de la matèria (aplicades als fenòmens d'aire net i l'aire contaminat) que representa l'alumnat de cycle superior de primària a l'inici i al final d'una SEA/DI?
- P.2.2.** Quin seria un model científic apropiat per a l'alumnat de cycle superior de primària respecte a les idees d'estructura i natura de la matèria aplicades als fenòmens d'aire net i l'aire contaminat?

A continuació s'aprofundeix en la metodologia d'aquest estudi 2 especificant com s'ha dut a terme la recollida i la anàlisi de dades i els aspectes i procediments que s'han tingut en compte per garantir la seva fiabilitat i validesa. Al final d'aquest estudi s'adjunta l'article 2 "What is the city air made of? An Analysis of Pupils' conceptions of Clean and Polluted Air" que és la producció principal d'aquest estudi ([enllaç](#)). En aquest capítol de llibre convidat s'aprofundeix en aspectes concrets de l'ensenyament i aprenentatge del model corpuscular de la matèria, de la rellevància del fenomen de la contaminació i dels models i la modelització a l'aula de primària. També es mostren el sistema de categories finals així com els resultats obtinguts de l'anàlisi de les dades i les conclusions i limitacions principals de l'estudi.

#### 5.4.1. RECOLLIDA DE DADES DE L'ESTUDI 2

---

Tal com s'ha comentat anteriorment, la recollida de dades d'aquest estudi 2 es vincula a dues tasques del prototip 3 de la SEA/DI (tasques marcades amb el fons blau fosc a la Taula 8, [enllaç](#)): les tasques 0.1.(idees inicials de l'alumnat) i 3.4. (idees finals de l'alumnat) (Figura 16).

**0.1** Imagina que atrapéssim aire d'un lloc amb aire net i aire d'un lloc molt contaminat i que el poguéssim veure per dins. Dibuixa com creus que seria l'aire net i com creus que seria l'aire contaminat. I si els miréssim amb una lupa?

\*Identifica al teu dibuix què és l'aire i la contaminació

Explica el teu dibuix anterior mencionat com creus què és i de que creus que està fet l'aire net.	Explica el teu dibuix anterior tot fet referència a com creus què és i de què creus que està fet l'aire contaminat.

**Figura 16.** Enunciat de la tasca 0.1. a partir de la que s'han recollit part de les dades principals de l'estudi 2 relacionades amb les idees inicials de natura i estructura de l'aire net i contaminat de l'alumnat de cicle superior de primària. A la part superior de la figura s'espera que l'alumnat representi les seves idees sobre com s'imagina l'aire net i contaminat tant a ull nu (marco) com per dins (meso/mico) dibuixant. A la part inferior de la figura, es destina un espai a que l'alumnat expressi les seves idees de forma escrita. La tasca 3.4. on es recullen les idees finals és igual a aquesta.

L'ús d'activitats de la pròpia SEA/DI com a instruments de recollida de dades principal de la recerca ha estat utilitzat en diverses recerques anteriors (Hernández Rodríguez, 2012; Muñoz-Campos et al., 2018; Soto et al., 2016). A més a més, estem d'acord amb Jiménez-Liso et al. (2021) que l'ús d'activitats de la SEA/DI com a instruments de recollida de dades permet, d'una banda, recollir les idees de tot l'alumnat independentment de si aquest les comparteix o no en les posades en comú; i, d'altra banda, evitar la sobrecàrrega de tasques en l'alumnat.

Aprofundint més en els instruments d'anàlisi principals, s'ha optat per demanar a l'alumnat l'expressió de les seves idees de manera multimodal: dibuixant i escrivint (Márquez et al., 2003, 2006). El potencial del dibuix com a estratègia de recollida de dades ha estat subratllat per nombroses recerques (Ainsworth et al., 2011; Lerner, 2007; Márquez, 2002). D'acord amb la recerca de Llombart i Catalán (2015) els dibuixos a l'aula de ciències permeten identificar les idees inicials de l'alumnat, avaluar-ne la progressió, fomenten l'observació dels fenòmens i la modificació de les representacions mentals, i faciliten la construcció de coneixement i el canvi conceptual. Driver (1986) i Márquez (2002) als seus articles reforcen la idea que els dibuixos són una forma efectiva perquè l'alumnat expressi de les seves idees o models mentals, ja que aquest tipus d'expressió imposa menys restriccions a l'expressió de les idees (p.ex. no requereixen un llenguatge específic que els limiti). A més a més, les autores anteriors apunten que en moltes ocasions l'expressió d'idees de l'alumnat a través del dibuix és més rica i concreta que no pas la seva expressió a través del llenguatge verbal que dominen, sovint poc concret. Més recentment i en el nostre context cultural, Moltó et al. (2021) han identificat el potencial dels dibuixos per a l'expressió i anàlisi de les idees sobre el model cineticocorpúscular de la matèria amb l'alumnat de 4t curs de secundària.

Tot i el potencial dels dibuixos tant per a l'ensenyament i aprenentatge de les ciències com per a la recerca en l'àmbit, diversos autors han manifestat que donada la complexitat de les idees o models mentals de l'alumnat, per conèixer-los i analitzar-los es requereix una expressió multimodal d'aquests (Márquez et al., 2003, 2006; Muñoz-Campos et al., 2018). Per aquest motiu, en aquesta recerca s'ha optat per demanar a l'alumnat l'expressió de les seves idees o models inicials i finals sobre l'aire net i l'aire contaminat en un format multimodal, dibuixant i escrivint (Figura 16).

A banda de les produccions multimodals de l'alumnat, durant les implementacions de les activitats a les escoles E1 i E2, també s'han fet gravacions en vídeo i àudio (p.ex. de les posades en comú de tot el grup classe...) i s'han recollit les notes de la investigadora. Aquestes dades, considerades secundàries, han permès capturar i identificar aspectes contextuais clau per a l'anàlisi i interpretació de les dades principals que l'alumnat no expressava explícitament a les seves produccions. Per exemple, l'ús polisèmic que fan de al paraula partícula o l'ús de la paraula oxigen com a sinònim d'aire.

A més a més, la recollida de dades multimodal i de dades secundàries han estat clau per a la triangulació de les fonts de dades (Cohen et al., 2018) tal com expliquem més endavant a l'apartat de fiabilitat i validesa d'aquest estudi ([enllaç](#)).

Com s'ha posat de manifest a l'apartat de participants dels estudis 2 i 3 ([enllaç](#)), en el cas de l'estudi 2 només s'han pogut recollir, analitzar i extreure resultats i conclusions de les produccions de l'alumnat de l'escola E1. El motiu és que només en aquest cas s'ha pogut implementar la SEA/DI completa com estava previst i s'han pogut recollir les produccions inicials i finals de l'alumnat sobre l'aire net i contaminat (activitats 0.1. i 3.4). Així, només formen part de l'article 2 ("What is the city air made of? An Analysis of Pupils' conceptions of Clean and Polluted Air", [enllaç](#)) les 24 produccions inicials i finals recollides de l'alumnat de l'escola E1.

La impossibilitat de recollir les produccions finals sobre l'aire net i l'aire contaminat de l'alumnat tant de l'escola E2 com de la resta d'escoles participants durant la pandèmia per COVID-19 ha fet que bona part de les dades inicials recollides hagin quedat descartades. No obstant això, tot i no haver pogut considerar aquestes dades per a l'anàlisi de l'evolució de les idees, les produccions inicials recollides de tot l'alumnat (n=121) sí que s'han utilitzat per garantir la completesa i transferibilitat de les categories d'anàlisis finals tal com s'explica a l'apartat de fiabilitat i validesa de la metodologia d'aquest estudi ([enllaç](#)). A més a més, part dels resultats obtinguts d'aquesta anàlisi de les idees inicials formen part de la comunicació Solé et al. (2019) feta als "29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias".

#### 5.4.2. ANÀLISI DE DADES DE L'ESTUDI 2

---

Per a l'anàlisi de les produccions multimodals sobre l'aire net i contaminat s'ha optat per una anàlisi essencialment qualitativa interpretativa, fonamentada en l'anàlisi del discurs multimodal (Márquez et al., 2006). Tot i això, quan ha estat necessari s'han incorporat estratègies pròpies de l'anàlisi quantitativa, tal com l'anàlisi de concurrències, per a aprofundir en les relacions emergents entre categories. Per a l'emergència i saturació de les categories, s'ha optat per fer una anàlisi de comparació constant en un anar i tornar de les categories a les dades i viceversa (Cohen et al., 2018; Miles et al., 2014) amb ajuda del software d'anàlisi de dades l'Atlas.ti (versió 8 i 9).

Seguint la proposta de Miles et al. (2014) l'anàlisi ha tingut essencialment tres moments: un primer de preparació de les dades, un segon d'anàlisi i codificació iterativa per a la definició de

les categories d'anàlisi i, un tercer d'anàlisi interpretatiu per a la cerca de patrons entre les categories. Cal esmentar que tot i que a continuació aquestes es presenten de manera lineal, les diferents fases s'han donat en espiral al llarg de tota la investigació (Hernández-Sampieri et al., 2006), és a dir, anant i tornant constantment d'una fase a l'altra fins a l'anàlisi final.

A la primera fase, s'han processat i preparat les dades per a la seva posterior anàlisi. Així, ha estat necessari seleccionar el conjunt de dades analitzables per garantir que aquestes complien els criteris tècnics i contextuals per a respondre la pregunta de recerca plantejada. En aquest sentit, ha estat necessari descartar algunes de les dades recollides bé perquè només es disposava d'una de les produccions de l'alumnat (producció inicial o producció final de l'aire net i contaminat) o bé perquè aquestes no eren comprensibles (p.ex. produccions en les que l'explicació no es podia llegir).

A continuació, per poder realitzar l'anàlisi amb el software Atlas.ti ha estat necessari preparar i organitzar les dades seleccionades. Les produccions sobre l'aire net i contaminat recollides s'han dividit en arxius independents en format PDF obtenint un document individual per a cadascun dels participants. En els casos que ha estat necessari, per exemple perquè la lletra no era clara o perquè hi havia diverses interpretacions possibles, s'han transcrit les explicacions de l'alumnat amb ajuda dels docents referents de cadascuna de les aules. En el cas de les dades secundàries, s'han comprimit i adaptat el format dels vídeos de les posades en comú realitzades immediatament després de les activitats analitzades i s'han escanejat les notes de la investigadora durant la realització de les activitats i les posades en comú. Tot i que el que reproduïm aquí és la versió final de la organització, ha estat necessària certa iteració en el procés de preparació i codificació de les dades per a la identificació de la forma més adequada per a la anàlisi de la evolució de les idees que es objecte d'aquest estudi 2.

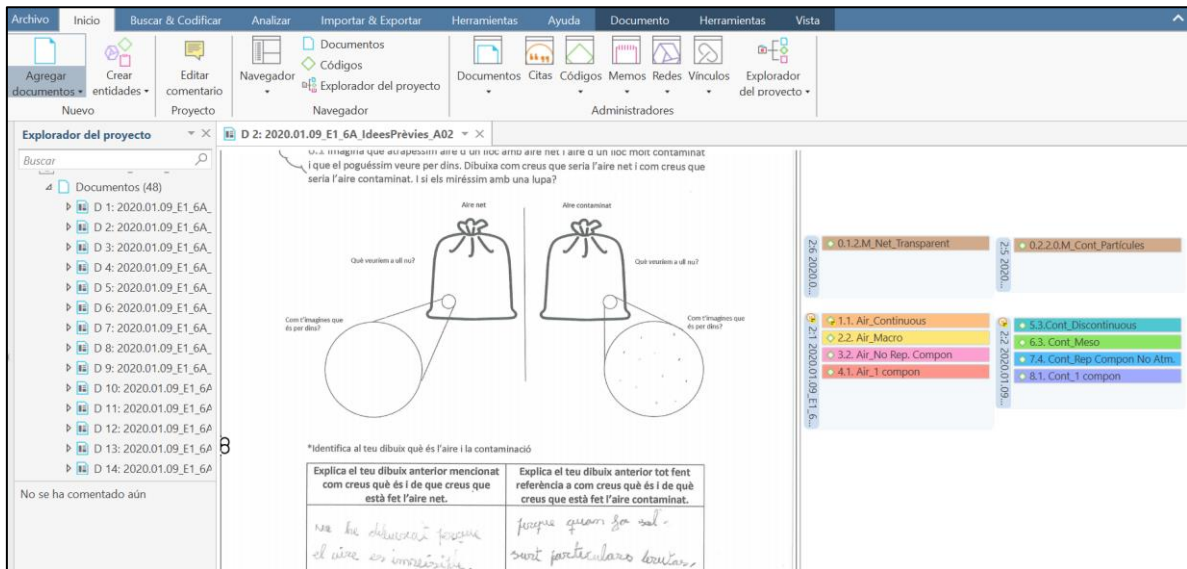
Tot i que des d'un inici s'ha intentat garantir l'anonimat de les dades, per exemple, demanant explícitament a l'alumnat que identifiqués les produccions amb un codi alfanumèric en comptes de amb el seu nom i cognoms; en alguns casos ha estat necessari revisar i eliminar algunes dades relacionades amb informacions personals o del centre educatiu (p.ex. el nom real dels participants) per tal de garantir l'anonimat.

D'altra banda, per tal de garantir la traçabilitat i la triangulació entre les diferents fonts de dades s'han identificat amb la mateixa relació codi-alumne utilitzada per les produccions multimodals la resta de dades recollides: gravacions de les intervencions de l'alumnat en les posades en comú, anotacions d'aspectes interessants a la llibreta de la investigadora, etc.

A més a més, seguint un procediment similar al proposat per Hernández-Sampieri et al. (2006) les dades s'han anomenat i guardat seguint un codi que permet la identificació de les seves característiques principals: data de recollida, escola, curs i classe, sessió, temàtica, tipologia de dada i codi del grup/alumne (p.ex. 2020.01.09\_E1\_6A\_S1\_IdeesPrèvies\_Dibu\_A13). Amb el conjunt de dades preparades i classificades per a l'anàlisi, s'ha generat una taula-registre (veure exemple a l'annex 4.2., [enllaç](#)).

A la segona fase, anomenada codificació oberta o de primer nivell (Hernández-Sampieri et al., 2006; Miles et al., 2014), s'ha fet una codificació de les dades de manera iterativa. Per a aquesta codificació, en primer lloc, s'han definit com a unitats d'anàlisi l'expressió d'una idea. Així, les unitats d'anàlisi són de "flux lliure" (Hernández-Sampieri et al., 2006), ja que no són equivalents entre si pel que fa a les seves dimensions. Per exemple, en alguns casos l'expressió d'una idea s'ha considerat només una part del dibuix, una única paraula... mentre que en altres ocasions s'ha considerat tot el dibuix, tota l'explicació...

Un cop definides les unitats d'anàlisi i introduïdes en forma de cita al programa Atlas.ti s'han definit les diferents categories d'anàlisi de manera inductiva-deductiva i s'han anat codificant alhora les dades (Figura 17). En aquest sentit, en alguns casos el sistema de categories s'ha basat en categories apuntades per altres autors, per exemple, en el cas de les categories de la idea d'estructura de la matèria (continua -Cont-, semicontinua -Semicont- i discontinua -Discont-) apuntades per Hadenfeldt et al. (2014) i Talanquer, (2013) (*idea of continuity* a la taula de l'article 2, [enllaç](#)); i, en canvi, en altres ocasions han emergit de la pròpia anàlisi com, per exemple, les categories relacionades amb la naturalesa de les components de l'aire net i contaminat (*idea of components* a la taula de l'article 2, [enllaç](#)).



**Figura 17.** Imatge representativa de la codificació feta amb Atlas.ti 9 de les produccions d'aire net i contaminat pre i post de l'alumnat. A l'esquerra de la pantalla és pot veure una llista del conjunt de documents per analitzar, al centre de la imatge un exemple del tipus de document amb el dibuix i descripció pre de l'aire net i contaminat d'un alumne (Alumne 02 Escola E1) i a la dreta de la pantalla els diferents codis assignats. Cal esmentar que en aquesta imatge no es visualitzen els codis intel·ligents generats posteriorment en l'anàlisi.

Les categories inicials provisionals s'han anat refinant i modificant (fent agrupacions, disgregacions, canvis, refinaments...) a través de l'anàlisi iterativa de les dades recollides fins a la seva saturació. Les categories d'anàlisi final formen part de l'article 2 d'aquesta tesi doctoral ([enllaç](#)).

Estem d'acord amb Garrido-Espeja (2016) que la codificació a petita escala per la que s'ha optat té algunes limitacions. Tal com hem expressat al marc teòric, els models mentals de l'alumnat són de naturalesa privada i d'ontologia conceptual, i per tant, inaccessibles (Gilbert & Boulter, 1998; Pozo et al., 1992). D'aquesta manera, per poder-los conèixer i analitzar es necessari fer inferències a partir de la seva expressió en un o diversos sistemes de representació (Garrido-Espeja & Couso, 2017; Márquez & Artés, 2016; Muñoz-Campos et al., 2018). Així, a la nostra recerca, la identificació de les idees de l'alumnat sobre el model corpuscular de matèria s'ha fet a partir de la interpretació que fem de l'expressió del model que fa l'alumnat, però no podem dir que és el seu model mental directament. En aquest sentit, quan codifiquem un dibuix, text o expressió amb una idea concreta del model matèria volem dir que quan l'alumnat expressa les seves idees (dibuixades, escrites o oralment) en un moment concret està expressant o usant idees pròpies d'aquella categoria i no, que el seu model mental sigui exactament aquest. Tot i això, i per dotar de senzillesa a la comunicació, en diferents moments tant d'aquesta tesi com de l'article 2. Why is the city air made of? An Analysis of Pupils' conceptions of Clean and Polluted

Air ([enllaç](#)) generalitzem afirmant que l'alumnat té una idea d'aire com a continu en la macroescala, per exemple.

D'altra banda, tal com han destacat diversos autors, els models de l'alumnat sovint tenen poca consistència interna (Pozo et al., 1992) i, en conseqüència, en demanar la seva expressió en diferents formats (dibuixat, escrit...) és habitual trobar d'idees contradictòries o inconsistents entre elles (p.ex. alumnat que dibuixa l'aire net com un continu però parla de parts/partícules a l'escrit). En aquests casos, en aquesta recerca s'ha optat per codificar les produccions de l'alumnat tenint en compte la idea menys sofisticada a la que es fa referència. Aquesta decisió, tot i que té algunes limitacions, aplica el principi de cautela i es fonamenta en la literatura sobre idees prèvies que posa de manifest que superar les idees alternatives i construir-ne de noves no és senzill per a l'alumnat (Driver et al., 1994; Thornber et al., 1999).

A la tercera fase, anomenada codificació central o de segon nivell (Hernández-Sampieri et al., 2006; Miles et al., 2014), s'han buscat relacions entre les diferents categories, en primer lloc, per a la construcció de dimensions d'anàlisi que agrupessin i organitzessin les diferents categories i, en segon lloc, centrades en la anàlisi de la concurrència entre les diferents categories i dimensions d'anàlisi.

Per a la construcció i definició de les dimensions d'anàlisi, s'han agrupat les categories utilitzades en el primer nivell d'anàlisi en dimensions de major "amplitud conceptual" tenint en compte les similituds i diferències entre elles. Això ens ha permès identificar dues dimensions d'anàlisi per a cadascun dels aspectes analitzats. En el cas de la estructura s'han identificat (1) la idea de continuïtat i (2) la idea d'escala; i en el cas de la naturalesa: (3) la idea de components identificats i (4) la idea de mescla a la que es fa referència. Totes elles, i la relació entre aquestes i les diferents categories ha quedat recollida a la taula 2 de l'article 2 ([enllaç](#)).

En un segon moment, s'ha optat per una anàlisi de la concurrència emergent entre les categories fent servir la opció "Taula de concurrències" d'Atlas.ti 9. Aquesta opció ens ha permès identificar les relacions més habituals entre les idees d'estructura i naturalesa per separat (Taula 10). Així, amb aquesta anàlisi hem pogut observar que a l'inici l'alumnat majoritàriament representa a les seves produccions l'aire com una substància continua a la macroescala.

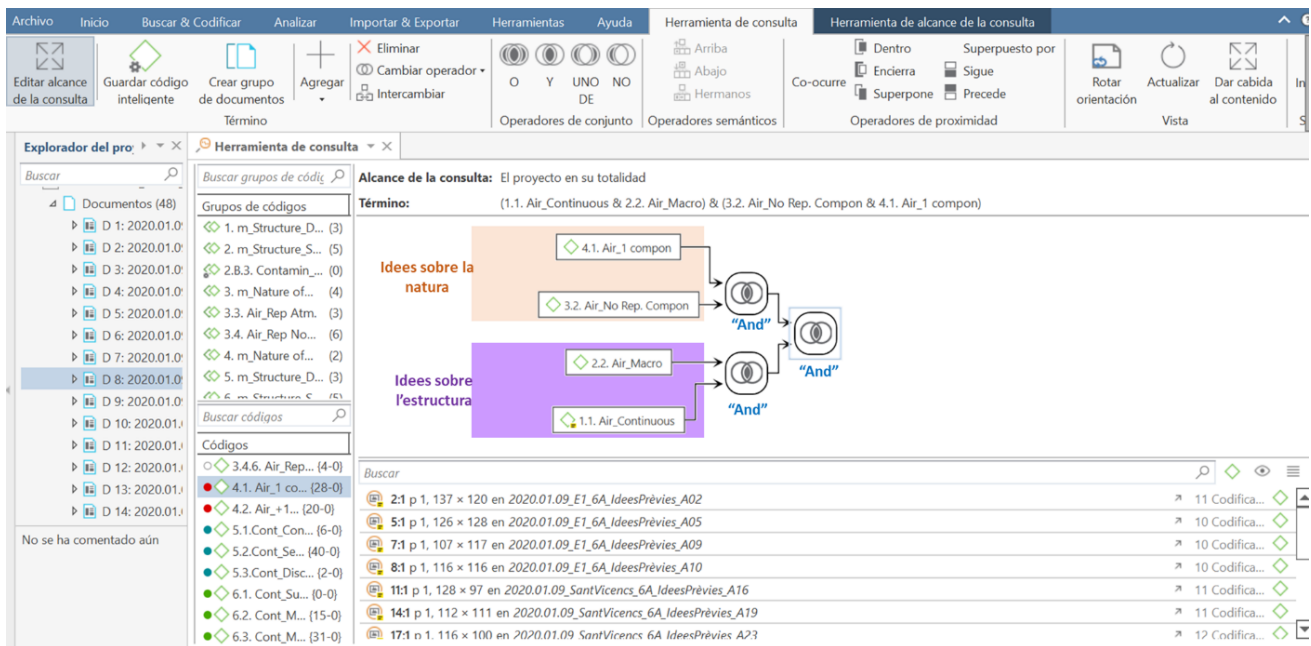
*Taula 10. Exemple de taula d'anàlisi de la concurrència de codis entre les idees prèvies de l'alumnat relacionades amb les dimensions d'estructura de l'aire net. Taula generada amb Atlas.ti 9 i exportada a Excel. A l'eix X es troben les categories relacionades amb la idea d'escala que apareix a les produccions, i a l'eix Y les categories relacionades amb la idea de discontinuïtat que apareix a les produccions. El 8% de produccions de l'alumnat que no queden reflectides a la taula estan relacionades amb el percentatge d'alumnat que no té una idea de l'aire com a matèria.*

Idea de continuïtat	Discontinu	0%	4%	8%
	Semicontinu	0%	13%	0%
	Continu	58%	8%	0%
		Macro	Meso	Atomic-Molecular
		Idea d'escala		

A partir dels patrons identificats en la primera anàlisi de concurrència, al software Atlas.ti s'han generat "codis intel·ligents" usant operadors lògics (p.ex. "and", "or"... ) que ens han permès fer una anàlisi de les relacions més profunda i sofisticada relacionant les categories de les quatre dimensions d'anàlisi (Figura 18). Seguint autors com ara Hernández-Rodríguez (2012); Garrido-



Espeja (2016); Soto (2019) aquestes relacions s'han representat en forma de gràfics de boles (fig. 11.4 i 11.9 a l'article 2, [enllaç](#)) que indiquen percentatge d'alumnat en un cert nivell o idea al llarg de la instrucció. Les representacions ens han permès veure quines eren les idees més comunes a l'inici i al final en les produccions de l'alumnat per després comparar-les. Per exemple, com a resultat d'aquest procés hem observat una evolució d'una idea inicial majoritària entre l'alumnat de l'aire com a un continuu, a escala macroscòpica i format per un component al que no es fa referència a una idea final de l'aire com una substància semicontinua, a escala macroscòpica amb més d'un component presents a l'atmosfera natural (p.ex O<sub>2</sub>).



**Figura 18.** Exemple de codi intel·ligent generat amb Atlas.ti 9 corresponent a la idea d'aire net com a una substància continua, a nivell macro, amb un únic component que no és representat. El fons de color taronja emmarca les categories relacionades amb la natura, el fons lila les categories relacionades amb l'estructura. Sota de cadascun dels operadors lògics es troba la seva correspondència en paraules. A la part inferior dreta de la figura es poden veure els documents que formen part del codi intel·ligent.

### 5.4.3. FIABILITAT I VALIDESA DE LA METODOLOGIA DE L'ESTUDI 2

D'acord amb diversos autors, un aspecte central de les recerques educatives tant de caire qualitatiu com quantitatiu és la fiabilitat i validesa de la metodologia emprada (Cohen et al., 2018; Hernández-Sampieri et al., 2006; Miles et al., 2014). Tot i que existeix certa controvèrsia a la literatura en relació a l'adequació dels criteris de fiabilitat i validesa en les recerques qualitatives (Cohen et al., 2018) en aquesta recerca adoptem el conegut marc proposat per Lincoln & Guba (1985) i utilitzat per altres autors posteriorment (Hernández-Sampieri et al., 2006). Aquest marc identifica quatre criteris clau per garantir la qualitat en les recerques qualitatives: (1) la credibilitat (o validesa interna qualitativa) que fa referència a fins a quin punt s'han recollit, comprès i transmès amb profunditat i amplitud els significats, vivències i conceptes dels participants; (2) la transferibilitat (validesa externa qualitativa o aplicabilitat dels resultats) que es defineix com la capacitat que, com a mínim, part dels resultats puguin ser aplicables en altres contextos (Williams et al., 2005); (3) la dependència (confiabilitat qualitativa o consistència lògica), que es defineix com el grau en què diferents investigadors efectuen la mateixa anàlisi generant resultats equivalents; i (4) la confirmabilitat, que fa referència a la capacitat de l'investigador per minimitzar els seus baixos i tendències (Mertens, 2005).

A més dels criteris anteriors, també s'ha tingut en compte com a criteri de qualitat de la recerca l'autenticitat. Aquest terme, proposat per Lincoln (2007), fa referència a la necessitat d'incloure dades reals dels estudiants així com produccions d'aquests en imatges per compartir de forma transparent l'anàlisi feta.

Per tal de garantir la qualitat dels criteris anteriors s'han identificat diverses estratègies i/o processos a tenir en compte en la recerca. Per exemple, per tal d'evitar el biaix tant de l'investigador com dels participants i garantir la credibilitat i confiabilitat de l'anàlisi i dels resultats Franklin i Ballan (2005) i Mertens (2005) recomanen estratègies com ara fer estades llargues al camp; assegurar la triangulació de mètodes, investigadors i dades; establir comparacions entre els resultats i la teoria o promoure les auditories entre col·legues.

Seguint les propostes dels autors anteriors, per tal de minimitzar l'impacte o les distorsions en la recollida de dades d'aquesta recerca s'ha optat, d'una banda, per recollir produccions de l'alumnat que formaven part de les activitats de la SEA/DI amb un format similar al que utilitzen habitualment. I, d'altra banda, per una presència constant durant tota la implementació de la investigadora principal (observadora participant i no participant), amb el suport de diversos instruments de recollida de dades secundàries (gravadores de vídeo i àudio, i diari de camp). Aquests aspectes també han estat clau per poder conèixer el context en profunditat i garantir la credibilitat, dependència i confiabilitat de l'anàlisi i dels resultats obtinguts.

En aquesta línia, tal com s'ha posat de manifest a l'apartat de recollida de dades ([enllaç](#)), tot i que les dades principals de l'estudi han estat les produccions multimodals de l'alumnat s'han recollit dades secundàries (dades audiovisuals i notes de la investigadora) al llarg de tota la SEA/DI però, especialment, durant la implementació de les activitats analitzades i les posades en comú següents. Aquestes han estat clau per a la triangulació de fonts.

Un altre aspecte clau per garantir l'adequació del sistema de categories i la credibilitat de l'anàlisi ha estat la triangulació entre investigadors. Per a això, s'ha seleccionat una submostra de les produccions de l'alumnat (15 produccions incloent idees inicials i finals) que han estat analitzades per una altra investigadora independent a la recerca. S'ha obtingut un alt grau de coincidència entre ambdues investigadores en la codificació feta individualment i, en els casos on no s'ha donat aquesta coincidència s'han discutit les discrepàncies arribant a acords. A més a més, per tal de garantir la validesa interpersonal de les anàlisis realitzades (Vázquez & Angulo, 2003) s'ha repetit l'anàlisi en la seva totalitat al cap d'un mes obtenint resultats similars.

En aquesta mateixa línia, per tal d'assegurar la completesa i transferibilitat del sistema de categories, anàlisis i resultats de la recerca també s'han analitzat idees d'alumnat en altres contextos i d'altres edats més enllà dels que formen part dels resultats d'aquest estudi. En aquest sentit, per exemple, s'han tingut en compte produccions inicials d'alumnat de cicle superior de primària d'altres escoles amb característiques diverses de les que només es disposava de la producció inicial perquè no havien completat la implementació de la SEA/DI tal com havia estat prevista (per a més detalls veure Solé et al., 2021). De la mateixa manera, s'han tingut en compte les idees que l'alumnat de 3r d'ESO expressa sobre l'aire net i contaminat a les seves produccions recollides a la recerca de Solé et al. (2020).

Per últim, en termes d'autenticitat, tant els exemples que apareixen als sistemes de categories com aquells que formen part dels resultats de la investigació reflecteixen els dibuixos de l'alumnat. En el cas de les explicacions no s'ha pogut mostrar la producció de l'alumnat directament essencialment per dos motius, en primer lloc, perquè en molts casos la qualitat de la producció no era l'adequada per a ser publicada; i, en segon lloc, perquè era necessària la

seva traducció de l'idioma original (català) a l'idioma de la publicació (anglès en el cas de l'article 2). En tot moment però, s'ha intentat garantir una traducció tan fidedigna com ha estat possible de les produccions.

#### 5.4.4. PRODUCCIONS DE L'ESTUDI 2

---

El capítol de llibre de l'editorial Springer (identificat com a article 2 en aquest compendi) busca respondre a les preguntes investigables 2.1 i 2.2. d'aquesta tesi doctoral relaciona amb la confiabilitat de la SEA/DI en termes de l'aprenentatge del model corpuscular de la matèria. Concretament la recerca gira entorn a les idees d'estructura i natura de la matèria que té l'alumnat del cicle superior de primària (10-12 anys) quan dibuixa i descriu els fenòmens de l'aire net i l'aire contaminat; i en la seva evolució en involucrar-se en una SEA/DI amb un enfocament MBI/IBM que busca promoure específicament una construcció adequada del model corpuscular de matèria escolar per a aquest nivell.

En aquest, s'han recollit les produccions multimodals de 24 alumnes en dos moments: a l'inici i al final de la SEA/DI. L'anàlisi de les produccions anteriors i la revisió de la literatura existent sobre la temàtica ens ha permès dissenyar un sistema amb quatre dimensions d'anàlisi (la idea de continuïtat i d'escala per a l'estructura, i la idea de components i de mescla per a la naturalesa). Cadascuna d'elles s'ha dividit en diverses categories útils per una anàlisi rica de les produccions.

L'ús d'aquest sistema d'anàlisi ens ha permès identificar quines són les idees sobre l'estructura i la natura de l'aire net i contaminat més comuns entre l'alumnat a l'inici, quines idees supera l'alumnat al involucrar-se a la SEA/DI (p.ex. la idea d'aire com una única substància) i quines idees romanen al final tot i haver-se involucrat a la SEA/DI (p.ex. la idea de "partícula" com una substància incrustada en una altra substància continua). Els resultats obtinguts, també ens han permès avaluar les potencialitats del fenomen de la contaminació atmosfèrica i, de l'enfocament MBI/IBM (expressió de les idees inicials i la seva posterior comprovació/modificació a partir d'una experimentació genuïna) per fer avançar i sofisticar les idees de l'alumnat de primària sobre el model corpuscular de la matèria.

A continuació es troba l'article en el seu format de publicació. En aquest es detalla la recerca realitzada així com les discussions que se'n deriven dels resultats i les seves implicacions.

# Chapter 11

## What Is City Air Made of? An Analysis of Pupils' Conceptions of Clean and Polluted Air



Èlia Tena and Digna Couso

### 11.1 Introduction

Air pollution is one of the most important environmental problems in cities. This phenomenon has important effects on human, animal, and vegetable life. Changing this situation needs the active involvement of citizens, as traffic is a very important source of air pollution. As a consequence, air pollution is considered a hot topic in the promotion of scientific literacy for responsible citizenship (OCDE, 2020).

To be able to act in an informed and empowered way about air pollution, pupils need an understanding of the model of matter applied to gases and ideas on the structure and nature of air pollutants. This implies the mastery of an appropriate particle model of matter starting in early years. From a constructivist viewpoint, this can only be done by considering ideas on this topic and designing and guiding learning so that these ideas can evolve appropriately, as pupils construct improved versions of their models of matter applied to air and pollution.

The aim of this paper is to share our initial research results, obtained in the context of the implementation of an evidence-based teaching and learning sequence (TLS) about children' initial and final models regarding air pollution.

---

È. Tena (✉) · D. Couso  
CRECIM and Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals-UAB,  
Barcelona, Spain  
e-mail: [elia.tena@uab.cat](mailto:elia.tena@uab.cat); [digna.couso@uab.cat](mailto:digna.couso@uab.cat)

© The Author(s), under exclusive license to Springer Nature  
Switzerland AG 2021  
O. Levrini et al. (eds.), *Engaging with Contemporary Challenges through  
Science Education Research*, Contributions from Science Education Research 9,  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-74490-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74490-8_11)

133

## 11.2 Teaching and Learning the Particle Model of Matter

The particle model of matter, and especially the idea that matter is discrete, is a recognized core idea of scientific literacy (Harlen, 2010). From a (socio)constructivist perspective that view learning as the evolution of ones' ideas to make better sense of experience and teaching as the optimal guided instruction to support this evolution (Taber, 2011), knowing children's beliefs about the model of matter and how their ideas progress with schooling is essential (Karata et al. 2013).

Research on pupils' ideas about matter show us that children usually do not have a scientifically adequate understanding of the model of matter (Driver et al., 1994; Hadenfeldt et al., 2014; Merritt & Krajcik, 2013; Talanquer, 2009). On the contrary, pupils display significant alternative conceptions about matter, particularly when they talk about gases like air (Thornber et al., 2016). Some of the most important ones are the ideas of gases as a massless transient; air and oxygen as synonymous; air as a single substance rather than a mixture of gases (Driver et al., 1994) and also the use of properties of matter at the macro level (e.g. colour) to explain atomic or molecular features (Meijer et al., 2013). Moreover, some cross-age studies show that schooling has a moderate, often very slow, impact in the improvement of pupils' ideas on matter (Karata et al., 2013).

There are different aspects related to the teaching of this topic that can explain pupils' difficulty to build an adequate model of matter along schooling, such as the focus on the historical account of the construction of the atomic idea instead of into pupils' own initial ideas, which are strongly based on their macroscopic and qualitative experience with matter (Merritt & Krajcik, 2013). In addition, teaching about matter do not usually take into account the different scales necessary to study and interpret it, including the macroscopic scale (between 0.1 and 1 m), the mesoscopic scale (between  $10^{-7}$  and  $10^{-1}$  m) and the submicroscopic (between  $10^{-10}$  and  $10^{-9}$  m) (Meijer et al., 2013).

## 11.3 Air Pollution as a Relevant Phenomenon

Existing research shows us that people have a limited understanding and significant alternative conceptions on air pollution, their effects and possible strategies to reduce it (Mandrikas et al., 2017). Some of these alternative ideas are that: pollution only exists when we can see, feel, or taste it with our senses (Thornber et al., 2016); pollutants can only be in gas form and the confusion between pollution and other environmental problems like the Green House Effect or the Ozone Layer degradation. The increase in the prevalence of some of these alternative ideas by the end of formal education would suggest that schooling does not help children to overcome them (Thornber et al., 2016).

Focusing on air pollution due to suspended particle matter (PM), the most relevant regarding pollutants in cities due to traffic, to understand this phenomenon in an adequate way, implies mastering a sophisticated model of matter (Solé et al.,



2020). On the one hand, it implies overcoming pupils' interpretations based on their direct observations of the macro scale to focus on entities at the meso scale (particulate solid matter suspended in air) and the atomic- molecular scale (the actual particles air is made of). Additionally, it implies being able to differentiate the meso and the atomic-molecular scales, overcoming the polysemy of the word particle which is usually used for both (for instance for dust particles and for oxygen particles).

#### 11.4 Models and Modelling in Primary School

Mastering a sophisticated model of matter that allows us to describe, predict and explain adequately the air pollution phenomena requires instruction that addresses the above mentioned challenges. One approach that is consistent with a (socio)constructivist view of learning and focuses on helping students express and confront their initial models in order to develop them is model and modelling-based instruction (Chinn & Buckland, 2012). In school settings, this approach involves the construction of models by pupils and implies imagining new theoretical entities and building explanations about the world that are consistent with the available evidence (Duschl et al., 2011). The promotion of modelling in classrooms require helping pupils to imagine and express their initial ideas about a phenomena, put their ideas to test, make changes in their models to make them more coherent with their observations and finally, to compare these ideas with the consensus knowledge in (school) science (Couso & Garrido-Espeja, 2017; Schwarz et al., 2009).

In agreement with Lehrer & Schauble (2019) the goal of introducing modelling and models in the science classroom is twofold, both epistemic and epistemological. First, we involve pupils in modelling scientific phenomena to help them learn conceptual knowledge in the form of school scientific models. These models are educationally reconstructed versions of the models of science that are targeted in school because they have potential to explain many phenomena (Couso & Garrido-Espeja, 2017). Second, we aim to develop both procedural and epistemic knowledge and competence, by involving students in a modelling practice that helps them to participate in school science in a way that is coherent with how real science develops. This helps them to understand how individuals and communities generate scientific knowledge and to systematize this kind of practice (Lehrer & Schauble, 2019). From a learning perspective, some authors have argued how the learning of epistemic practices related to model and modelling-based instruction is important not only in terms of learning about science, but also for aiding concept development by promoting a school culture where the use of evidence for changing our ideas is valued (Chinn & Buckland, 2012).

Despite the potential and interest that literature attaches to modelling and models as a crucial part of the process of sense-making (Oh & Oh, 2011), modelling practice is rarely incorporated into elementary schools (Schwarz et al., 2009). Often, models are considered highly abstract entities inadequate for young children (Schwarz et al., 2009). However, as research has shown, children are capable of



thinking in both concrete and abstract ways, generating verbal and graphical representations about different everyday phenomena if the task has an appropriate cognitive level. When the modelling process is well-directed, children's ideas are quite sophisticated and closer than expected to the scientific ideas (Lehrer & Schauble, 2019).

## 11.5 Research Aims

The aim of this research is to analyse the ideas of pupils aged between 10 and 12 years-old about air pollution when they are involved in a model/modelling-based TLS specifically designed to promote the construction of an adequate model of matter applied to the air pollution phenomenon. Particularly, we focus on: (1) What are pupils' initial and final ideas about the structure and nature of clean air? and (2) What are pupils' initial and final ideas about the structure and nature of polluted air?

## 11.6 Context and Methods

The present study has been developed in the context of an educational project in which more than 12 schools and 647 pupils ages 10–12 have participated.

In the project, a research-based TLS of 12 classroom hours was iteratively developed, implemented in real classrooms and evidence-based modified during the 2018–2019 and 2019–2020 school years. To do so, we followed a Design-Based Research methodology (DBR Collective, 2003) from a participatory perspective that took into account the participating teachers' views (Couso, 2017). The TLS followed a didactical approach based on principles of model/modelling-based instruction. Specifically, we used the modelling cycle (Couso & Garrido-Espeja, 2017) to organize the sequence so that each targeted scientific idea could be progressively developed by involving children in the process of expressing, using, evaluating and revising their models.

### 11.6.1 Data Collection

To analyse pupils' ideas on clean and polluted air, during the implementation of the final, refined version of the TLS<sup>1</sup> (course 2019–2020) we have collected individual productions of pupils at the beginning and at the end. In order to promote the use of

---

<sup>1</sup>Information about the project ParticipAire and the TLS is available at: <https://ddd.uab.cat/record/225073?ln=ca>

their model of matter at different scales (macro, meso and atomic-molecular levels), we asked participating pupils to draw and describe in written form two hypothetical samples (bags) of clean and polluted air as seen both with the naked eye and with something that allowed them to look at its insides. Pupils' multimodal productions were gathered to be able to analyse their own initial models of matter applied to the phenomenon.

For the analysis in this paper, data from 24 pupils were collected in a public urban school with different socio-economical and ethnic profiles, including children from a range of ability groups.

### **11.6.2 Analysis**

The constant comparative method (Miles et al., 2014) has been used to analyse pupils' ideas. The system of coding categories was developed using a twofold top-down and bottom-up approach, by using categories identified in previous research or literature on the topic and considering emerging categories from the data. The final system of categories included in Table 11.1 analyses children' ideas in terms of both the structure and nature of clean and polluted air.

The dimension of structure uses categories inspired in previous literature on children' ideas of gas matter. As different authors have pointed out (Hadenfeldt et al., 2014; Merritt & Krajcik, 2013; Talanquer, 2009), one of the most important aspect to analyse pupils' progress toward a deeper understanding of matter is that of continuity, including matter seen as continuous, semi-continuous or discreet. Another important aspect to understand pupils' views of matter is that of scale (macro, meso and atomic-molecular), as scale is essential to interpret the differences between clean and polluted air. Following Acher et al. (2007) and Meijer R. et al. (2013), in primary school education "particles" can be understood as small parts in a mesoscopic scale, which can be interpreted as an initial step for the construction of actual idea of atomic/molecular particles. In the description of our categories (Table 11.1) we have used the word "particle" between commas to refer to any meso/micro entity the pupils might refer to.

The analysis of pupils' ideas for the dimension of nature has also been done based on previous literature on ideas about clean air (Driver et al., 1994) and polluted air (Pruneau et al., 2005; Thornber et al., 2016). Based on those, one of the most important ideas to be built in primary school education is that some everyday substances (e.g. air) are formed by a mixture of different components (e.g. Oxygen, Nitrogen...) (Driver et al., 1994). Therefore, the identification of one or more than one component as part of clean and/or polluted air has been categorised. On the other hand, we also included pupils' ideas about what are the concrete clean and polluted air components they refer to.

**Table 11.1** Categories used to codify pupils' ideas on the structure and nature of clean and polluted air

	Category	Definition
<b>Structure of clean and polluted air</b>	<b>Idea of continuity</b>	<p><b>Continuous (Cont)</b> Pupils describe air or pollution structure as a continuum substance, with no underlying structure.</p> <p><b>Semi-continuous (Semicont)</b> Pupils describe air or pollution using an initial concept of "particle". They understand these "particles" as granules or small parts of one substance embedded in the same or other continuous substance, that is, with some supporting material between them</p> <p><b>Discontinuous (Discont)</b> Pupils describe air or pollution structure using a concept of "particle". They understand these "particles" as granules or small meso/micro (non-macroscopic) entities without any supporting material between them.</p>
	<b>Idea of scale</b>	<p><b>Macro scale (Macro)</b> Pupils refer to clean and/or polluted air as materials or substances. These substances can be perceptible by the senses and closely connected to human scale (seen with the naked eye).</p> <p><b>Meso scale (Meso)</b> Pupils refer to clean and/or polluted air as structures made by "particles" in terms of small parts of the substance that have the same properties of the substance. These structures are small but could be seen with a magnifier.</p> <p><b>Atomic-Molecularscale (Micro)</b> Pupils refer to clean and/or polluted air as structures made by "particles" in terms of atoms or molecules, that is, particles that do not share the properties of the substance. These particles could not be seen with any magnifier.</p>
<b>Nature of air and pollution</b>	<b>Idea of components</b>	<p><b>Do not represent Earth's atmosphere components (No Rep)</b> Pupils do not represent or describe the nature of air and/or pollution. They focus on sources, express tautological answers...</p> <p><b>Natural Earth's atmosphere components(NEAC)</b> Pupils refer to air and/or pollution as made by natural Earth's atmosphere components like O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, noble gases...</p> <p><b>No natural Earth's atmosphere components (No,NEAC)</b> Pupils refer to air and/or pollution as made by no natural Earth's atmosphere components like virus and bacteria, dust, fumes,...</p>
	<b>Idea of mixture</b>	<p><b>1 component</b> Pupils represent air or pollution as made up by a single component.</p> <p><b>+1 component</b> Pupils represent air or pollution as made by a mixture of components.</p>

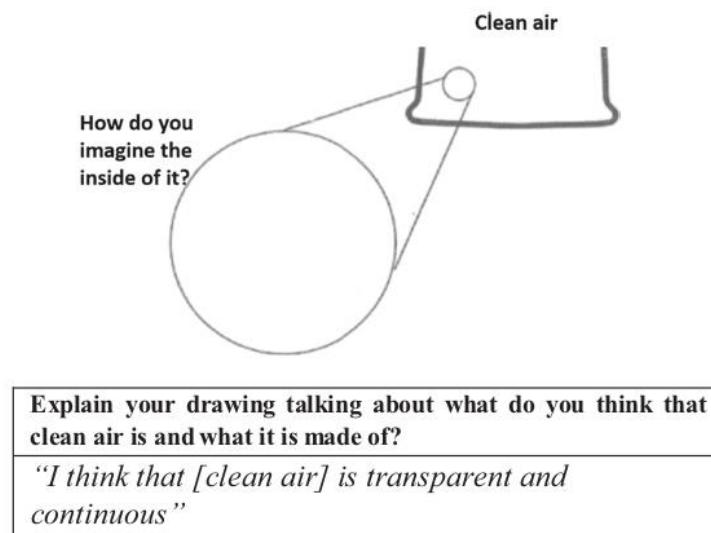


## 11.7 Results and Discussion

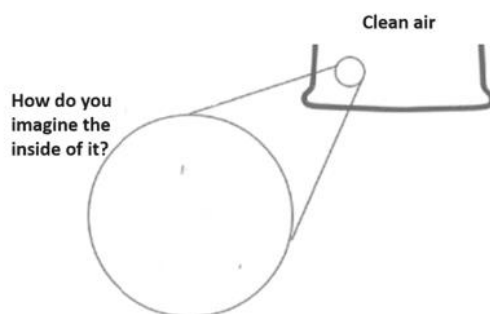
### 11.7.1 Pupils' Ideas Regarding Clean and Polluted Air as Seen with the Naked Eye

The analysis of pupils' ideas on clean and polluted air as seen with the naked eye shows that their ideas are quite homogeneous: most of the children (83%) initially identify clean air as a continuous transparent substance. However, when pupils refer to polluted air in initial productions, they express diversity of ideas. The number of children who represent polluted air as transparent is only 30%. In other 30% of the cases, pupils represent air pollution as a visible grey substance (Figs. 11.1 and 11.2). A small number of children (13%) relate air pollution with the emergence of "particles" that we can see without any magnifier. A smaller percentage of them (8%) associate air pollution to macro objects such as trash on (e.g. plastics, bags). These results are in line with results obtained by Pruneau et al. (2005).

After the TLS the percentage of pupils' that identify clean and polluted air both as transparent substances without introducing any other macroscopic entity is 83%. This means that most students after the TLS maintain their adequate macroscopic view of clean air and substantially modify in an adequate way their macroscopic view of polluted air. As such, at the end of the TLS pupils' have overcome the important alternative idea that pollution only exist when we can feel it (Thorner et al., 2016).



**Fig. 11.1** Initial production of P26 about how they imagine clean air if you look inside of it. They imagine clean air as continuous matter in a macro scale. Also, they do not represent the Earth's atmosphere components (NoRep)



**Explain your drawing talking about what do you think that clean air is and what it is made of?**

*"I think that [clean air] is made of by clean particles and O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, Nitrogen and CO<sub>2</sub>"*

**Fig. 11.2** Final production of P26 about how they imagine clean air if you look inside of it. Clean air is imagined as semi-continuous matter in a meso scale (there are little dots in their drawing that are not included in the naked eye representation which have macro properties such as being clean). Different components of the natural atmosphere are also identified (NEAC)

### **11.7.2 Pupils' Ideas Regarding Clean Air When Looking Inside of It**

Analysis of children's ideas on clean air when looking inside of it with an imaginary magnifier was expected to show pupils' ideas on continuity and scale compatible with an initial particle model of matter. However, a large range of understandings of continuity and use of diverse scales is found in pupils' drawings and explanations.

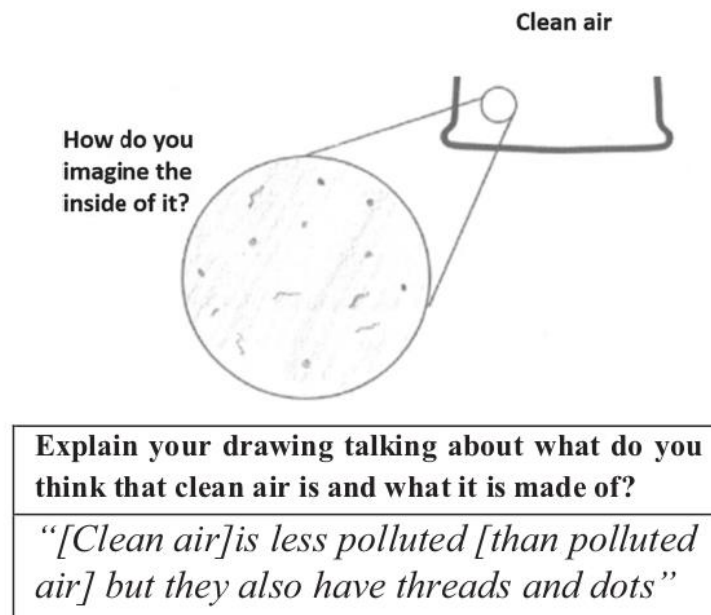
Regarding ideas on structure, most of the pupils (92%) conceived air as matter, with more than half of the pupils (58%) expressing a continuous and macroscopic view of clean air at the beginning (Fig. 11.1 for an exemplary answer). This is coherent with previous research which identifies the idea of discontinuous matter and also the idea of scale as some important challenges for primary school education (Driver et al., 1994; Hadenfeldt et al., 2014; Meijer et al., 2013). In their final productions, however, an idea of gas as semi-continuous matter (including an initial concept of "particles" floating in a continuous supporting material) is expressed by 72% of the children (Fig. 11.2 for an exemplary answer). In agreement with previous research we consider this semi-continuous model of air as an adequate enough idea on the structure of gas matter for 11 and 12 years-old pupils (Karata et al., 2013), as it is a necessary conceptual step towards a more sophisticated model of gas matter (Talanquer, 2009).

Additionally, a change in the scale in which children represent clean air is highlighted. As mentioned, in the pre-productions children usually use the idea of a macro scale. However, in the post-productions the most usual representation of the

inside of clean air is in the meso scale (91%) (Fig. 11.2). Despite not being the correct scale to represent the air molecules and atoms that made clean air, in agreement with Meijer et al. (2013), we consider this meso scale useful for pupils' gradual learning about atomic-molecular particles.

Regarding pupils' ideas on the nature of clean air, it is important to highlight that there are many differences between children's ideas about what clean air is made of independently on their quite homogeneous pre-ideas of structure. Initially 79% of them see clean air as made of a unique substance (1 component). In most of the cases, they refer to it as made by air or oxygen. As Driver et al. (1994) pointed out, pupils often use the word oxygen and other air gases as synonymous to "air." At the end of the TLS, about 78% of children understand air as made of more than one component. If we focus on the type of components that pupils talk about, we can see that initially most of their productions (79%) do not specify that (See Fig. 11.1 for an exemplary answer). They use tautological expressions (like "air is made of air") or focus their attention on the sources (like "clean air appears in the forest"). At the end of the TLS there is an increase in the number of children that mention that air is made of different gases commonly present in the atmosphere or NEAC (47%) (Fig. 11.2). However, only in few cases pupils mention all natural earth's atmosphere gases.

Interestingly, in their final productions some pupils' answers include representation of pollution or pollutants on their clean air drawings (NoNEAC 28%) (Fig. 11.3). We attribute it to the fact that in the TLS the "particles" of some common materials



**Fig. 11.3** Final production of P16 about how they imagine clean air if you look at its inside. They also include some pollutants (threads...) on their drawing and writing of clean air



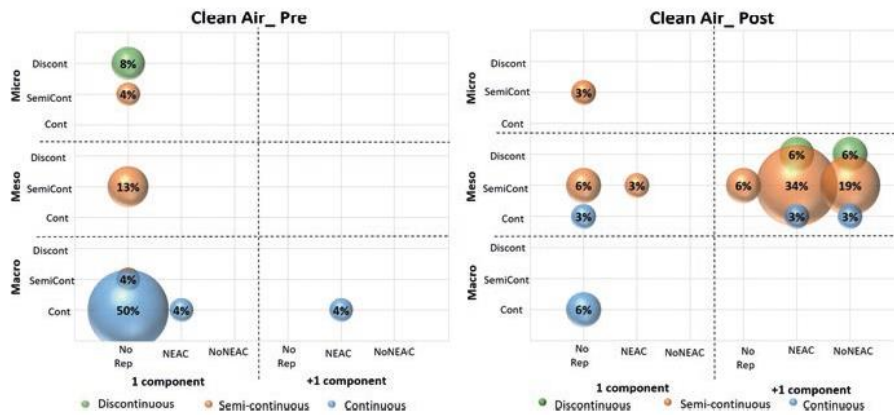


Fig. 11.4 Co-occurrence analysis between structure and nature of clean air in pupils' initial and final productions

such as dust, sand or pollen are introduced as natural pollutants. This can influence their representations of clean air, as rarely pupils identify “natural” sources with pollution (Thorner et al., 2016).

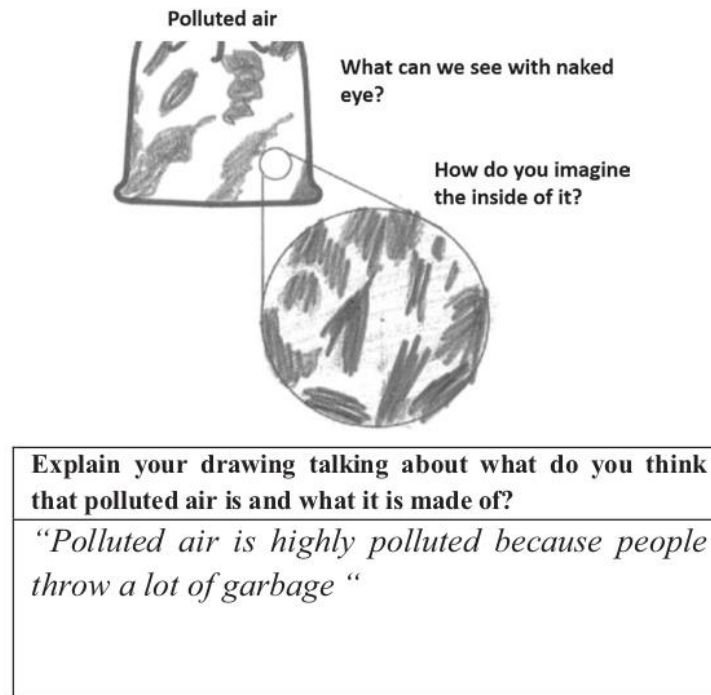
The percentages mentioned above for each of the categories that describe structure and nature of clean air are included in Fig. 11.4, which represents a co-occurrence analysis between both dimensions at the pre and post moment. One relation that can be identified is that children whose ideas of clean air involve a macroscopic view of matter usually think that clean air is made of a unique substance. However, in the case of children whose ideas of clean air involve the meso scale we cannot identify any direct relationship between structure and nature.

### 11.7.3 Pupils' Ideas About Pollution When Looking Inside of It

Our analysis of children's ideas about polluted air when looking inside of it expected to show pupils' ideas of matter at a meso scale level. However, as we can see in clean air, pupil's use a large range of scales specially in their initial productions.

Regarding the discontinuity of matter of polluted air in initial productions, 22% of students identify polluted air as continuous. However, even at an initial stance most students' express the idea of a certain semi-continuity in the polluted air structure (74%), which implies that pollution is understood by children as something added to the air (Fig. 11.5). Discontinuous ideas about matter applied to polluted air are very scarcely mentioned (4%). The percentage of these more sophisticated ideas of semi-continuity increase in students' final productions (97%) (Fig. 11.6).

The most important change between pre and post pupils' ideas regarding the structure of air pollution are the scale in which they represent the phenomena. In a

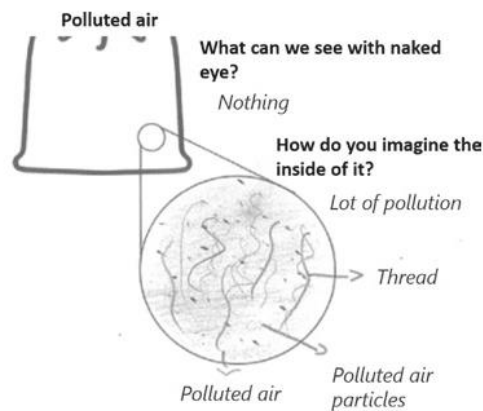


**Fig. 11.5** Example of the most common initial production about how they imagine polluted air when you look at the inside of it. Pupil 04 imagines polluted air as a semi-continuous matter in a macro scale. Also, they represent pollution as a single NoNEAC (garbage)

similar way as with clean air, at the beginning, more than a half of the pupils (59%) represent air pollution in a macro scale. At the end of de TLS, on the contrary, 97% of pupils' answers are in a more adequate meso scale.

The pupils' ideas on both dimensions of structure (continuity and scale) of polluted air show us that there is a more sophisticated model of matter regarding structure in the context of air pollution than in the context of clean air. This can be related to the difference of scale of both phenomena, which allows to have direct experience of the existence of pollutants but not of atomic particles. In fact, when we talk scientifically about pollution, we are necessarily in the meso scale, as “particles” of pollutants are from  $10^{-7}$  y  $10^{-5}$  m in suspension in the air. This makes possible to trap pollutants (for instance with a filter or sticky surface) that cannot be seen with the naked eye but can be observed with a magnifier, as pupils do in the TLS. In this sense, students in the TLS have a direct experience with the meso scale that they cannot obviously have with the atomic-molecular scale, as the particles of air (atomic and molecular particles) are of  $10^{-10}$  y  $10^{-9}$  m and can only be conceived in our imagination.

Regarding the nature of pollution, our results diverge strongly from previous research, such as that of Thornber et al. (2016), whose focus was mostly on gas pollutants as CFCs and Ozone in the context of the greenhouse effect. In our research



**Explain your drawing talking about what do you think that polluted air is and what it is made of?**

*"[Polluted air] is made of by carbon dioxide, threads and polluted particles. I also draw black on the back because of threads and carbon dioxide"*

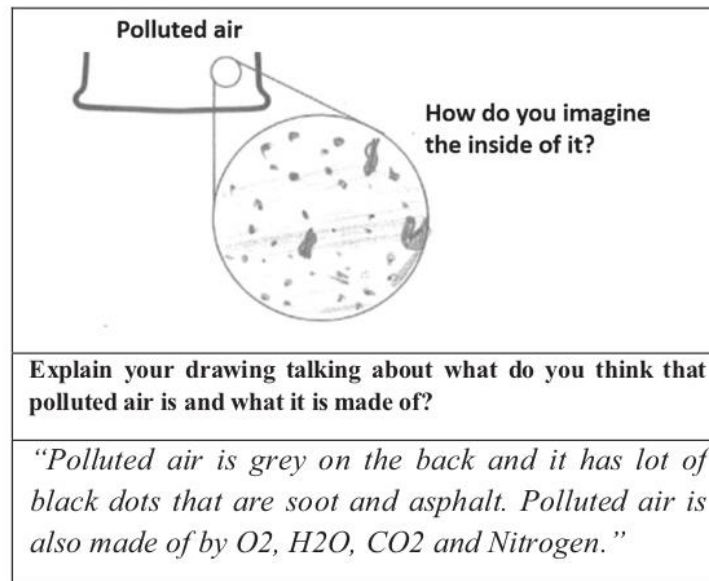
**Fig. 11.6** Example of the most common final production about how they imagine polluted air when you look at the inside of it. Pupil 05 imagines polluted air as a semi-continuous matter in a meso scale (we can only see pollution in the non-naked eye representation). Also, they identify different NoNEAC (threads, polluted air particles...)

in the context of polluted air in cities, we have found two different ways of understanding pollution: (1) pollution as an emergence or change in NEAC, like  $\text{CO}_2$ ; and (2) pollution as an emergence or change in NoNEAC, like particles exhausted by cars, microorganisms, dust, etc. Almost all the children's final productions include the idea of pollution as an emergence or change in NoNEAC (63%) (Fig. 11.7). This idea is closer to the scientific idea of pollution in the TLS.

A deeper analysis about the NoNEAC shows us that the most important ideas that have emerged in pupils' representations after the TLS are the idea of "particles" coming from cars or industry (pre 27% and post 71%) and the idea of threads or hairs (pre 0% and post 79%) as a pollutants (See Fig. 11.7 for exemplary answers). Also, in a coherent way with Pruneau et al., (2005), thrash is one of the ideas present in the initial drawings and explanations of pupils in a quite representative percentage (21%). These naïve ideas on the nature of polluted air have almost disappeared in the final productions.

On the other hand, a "contamination" view is also an important alternative idea in children's productions. As Dimitriou and Christidou (2007, p. 26) explained: "contamination refers to the presence of pathogenic microorganisms in the air", while "pollution" refers to the "presence of gaseous, solid or liquid substances". In Spanish, the words "contaminación" and "polución" are frequently used as





**Fig. 11.7** Example of pupil's final production that identify car and/or industry particles (soot and asphalt) as pollutants

equivalent. This can explain the 8% of pupils who identify microorganisms as a pollutant (Fig. 11.8). After the CoVID-19 situation, it is possible that this view is even more present in students' answers.

In a similar way as with clean air, most of the children at the beginning think about pollution as made of one single component (70%). However, at the end of the TLS 93% of pupils talk at least about two components when referring to pollutants.

The co-occurrence analysis crossing students' views on both the structure and nature of polluted air as shown in the pre and post questionnaire is included in Fig. 11.9. We can see that in the case of polluted air there is a very important improvement between pre and post pupils' views, shifting from very diverse pre-ideas that combine all the scales, continuity, and nature views possible, to a majority view of pollution as a semi-continuous phenomenon in the meso scale that involves more than 1 component, mostly NoNEAC.

## 11.8 Conclusions and Implications

Our analysis about children preconceptions shows that the two main challenges for 10–12-year-old students when modelling clean and polluted air are: (1) Overcoming the idea of air as a continuous substance and (2) Appreciating air as a mixture made of different components. These results are in agreement with previous research on this topic (Driver et al., 1994; Hadenfeldt et al., 2014; Talanquer, 2009).

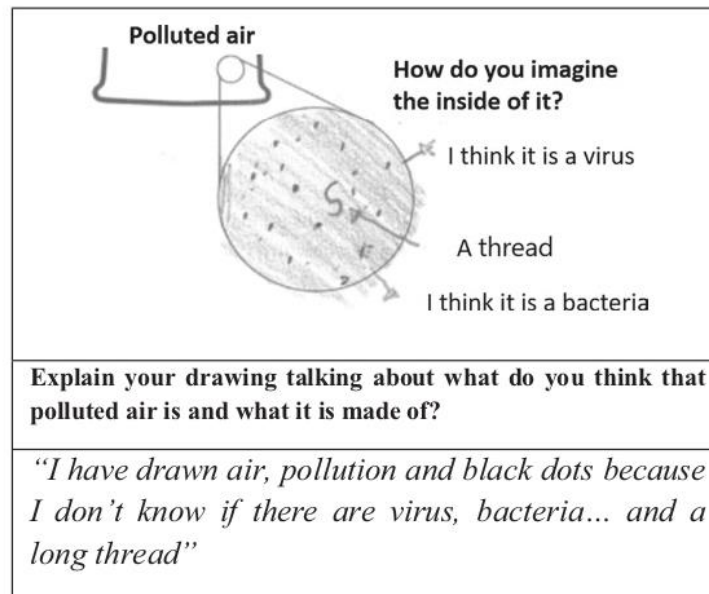


Fig. 11.8 Example of pupil's final production that identify infectious particles (virus and bacteria) and thread as pollutants

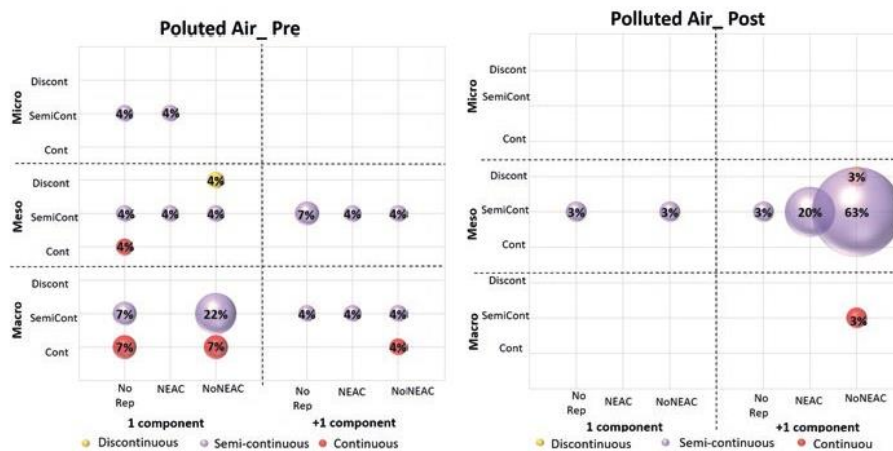


Fig. 11.9 Co-occurrence analysis between structure and particle nature of air pollution pupils' initial and final ideas

Additionally, this research has pointed out that involving children in a model/modelling-based TLS about air pollution is a promising context for improving pupils' ideas on matter and for overcoming challenges. Our results show it is easier for children to build the idea of semi-continuity regarding "particles" in the meso scale (particles as parts or particulate matter) than in the atomic-molecular scale

(particles as atoms and molecules), as Meijer et al.(2013) have pointed out. This signals the adequacy of the context of air pollution as one that triggers students' initial ideas closer to the scientific ones. In addition, we consider that the promising results identified are related to the modelling nature of the TLS, that allows confronting initial ideas in order to promote conceptual progression and model-evolution. For instance, having pupils express their initial models and test them experimentally, observing that even when they do not see anything in the air with their naked eye there can be different entities in it that can be trapped and observed with a magnifier glass, shows to impact strongly their final views, in which they add a lot of the observed elements (e.g. threads, sand).

Despite the improvement in children's ideas about matter in the context of clean and polluted air, the final productions of pupils still show some important alternative ideas, like the idea of air particles embedded in some supporting material or that particles have the same properties as the whole substance (semi-continuity idea). As some previous researchers have pointed out, building these ideas requires a deeper understanding of the atomic-molecular scale (Hadenfeldt et al., 2014; Talanquer, 2009). However, from a learning progression perspective, the ideas that pupils have built in the TLS can be understood as a necessary step to move forward to more adequate ideas regarding the particle model of matter.

In this sense, our results suggest that in primary school education we need to explore deeper the potential for children's understanding of matter of building ideas about different phenomena from a macro and meso scale perspective, as a previous step to the introduction of the atomic-molecular and subatomic scale.

**Acknowledgement** This research was done in PhD Education programme at UAB and partially funded by Spanish Government (PGC2018-096581-B-C21), ACELEC group (2017SGR1399) and FECYT (FCT-17-11955). Tena was supported by AGAUR under FI programme.

## References

- Acher, A., Arcà, M., & Sanmartí, N. (2007). Modelling as a teacher learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91(1), 398–418.
- Chinn, C., & Buckland, L. (2012). *Model-based instruction: Fostering change in evolutionary conceptions and in epistemic practices* (Issue October 2016).
- Couso, D. (2017). Participatory approaches to curriculum design from a design research perspective. In *Iterative design of teaching-learning sequences: Introducing the science of materials in European SCHOOLS*. Springer.
- Couso, D., & Garrido-Espeja, A. (2017). Models and modelling in pre-service teacher education: Why we need both. In *Cognitive and affective aspects in science education* (Vol. 3, pp. 245–261).
- DBR Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8.
- Dimitriou, A., & Christidou, V. (2007). Pupils' understanding of air pollution. *Journal of Biological Education*, 42(1), 24–29.



- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). Part III: Materials and their properties. In *Making sense of secondary science: Research into children's ideas* (pp. 137–229). Routledge.
- Duschl, R. A., Maeng, S., & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123–182.
- 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.
- Harlen, W. (2010). *Principles and big ideas of science education*. Association for Science Education.
- Karata, F. Ö., Ünal, S., Durland, G., & Bodner, G. (2013). What do we know about students' beliefs? Changes in students' conceptions of the particulate nature of matter from pre-instruction to college. In *Concepts of matter in science education* (pp. 231–247). Springer.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2019). Learning to play the modelling game. In *Towards a competence-based view on models and modeling in science education* (Vol. 145, Issue 3, pp. 221–236). Springer.
- 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>
- Meijer M., Bulte A. M. W., & Pilot, A. (2013). *Macro-micro thinking with structure-property relations: Integrating "meso-levels" in secondary education*. 19, 485–520.
- Merritt, J., & Krajcik, J. (2013). Learning progression developed to support students in building a particle model of matter. In G. Tsapalis & H. Sevian (Eds.), *Concepts of matter in science education* (Vol. 19, pp. 11–45). Springer.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis* (3rd Edition). Arizona State University.
- OCDE. (2020). *PISA 2024 strategic vision and direction for science* (Issue March).
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130.
- Pruneau, D., Richard, J. F., Langis, J., Albert, G., & Cormier, M. (2005). The evolution of children's ideas on pollution in the framework of experiential and socioconstructivist activities [1]. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 4(1), 17–34.
- 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.
- 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.
- Taber, K. S. (2011). Constructivism as educational theory: Contingency in learning, and optimally guide instruction. In *Education theory* (pp. 89–100). Nova Science Publishers.
- Talanquer, V. (2009). On cognitive constraints and learning progressions: The case of "structure of matter". *International Journal of Science Education*, 31(15), 2123–2136.
- Thornber, J., Stanisstreet, M., & Boyes, E. (2016). School students' ideas about air pollution: Hindrance or help for learning? *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 67–73.

## 5.5. ESTUDI 3

### ANÀLISI DE LA CONFIABILITAT DE LA SEA/DI EN TERMES DEL DESENVOLUPAMENT DE L'HABILITAT DE DISSENYAR PREGUNTES CIENTÍFICAMENT INVESTIGABLES

L'objectiu principal d'aquest estudi 3 és analitzar la confiabilitat de la SEA/DI dissenyada (prototip 3, [enllaç](#)) en termes del desenvolupament de l'habilitat de dissenyar preguntes científicament investigables. Específicament, les preguntes de recerca que guien aquests estudi són les següents:

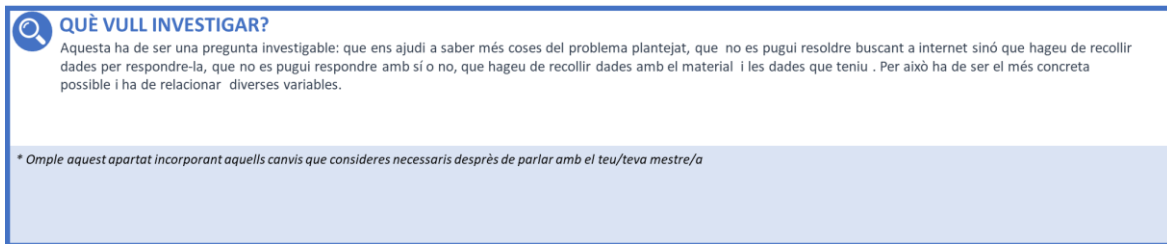
- P.3.1.** Com evoluciona la investigabilitat de les preguntes que dissenya l'alumnat de cicle superior de primària per investigar el fenomen de l'aire contaminat a la seva escola amb l'ús de diferents estratègies didàctiques?
- P.3.2.** Quina és la progressió d'aprenentatge empírica de l'alumnat de cicle superior de primària per a la habilitat de dissenyar preguntes científiques investigables?

De manera anàloga a com s'ha plantejat per a l'estudi 2, a continuació s'explica en detall la metodologia d'aquest estudi 3 concretant com s'ha dut a terme la recollida i anàlisi de les dades i els aspectes i procediments que s'han tingut en compte per garantir la seva fiabilitat i validesa. Al final d'aquest estudi 3 s'adjunta l'article 3 "El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria" que es considera la principal producció d'aquest estudi ([enllaç](#)). En aquest article s'aprofundeix en la indagació com a pràctica, la importància de les preguntes investigables a l'aula de ciències i en algunes de les estratègies docents pel desenvolupament de preguntes investigables a l'aula. Per fer-ho, es desenvolupa un sistema de categories final per caracteritzar el grau d'investigabilitat d'una pregunta investigable escolar, mostrant els resultats obtinguts de l'anàlisi de les dades. Arrel dels resultats obtinguts, es fa també una proposta de progressió d'aprenentatge per a aquesta habilitat a l'aula de primària.

#### 5.5.1. RECOLLIDA DE DADES DE L'ESTUDI 3

De manera similar a l'estudi 2, les dades principals d'aquest tercer estudi són les produccions de l'alumnat en l'activitat 2.2. (activitat identificada en blau a la Taula 8, [enllaç](#)) de la pròpia SEA/DI (prototip 3, [enllaç](#)). En aquesta, l'alumnat ha de dissenyar i dur a terme una recerca semioberta i genuïna (Izquierdo & Aliberas, 2004) al voltant de la contaminació de la seva escola. Concretament es busca que l'alumnat s'involucri en el que Ioannidou & Erduran (2021) identifiquen com una recerca no manipulativa de testeig d'hipòtesis. Aquesta busca provar algunes de les idees al voltant de la contaminació a l'escola però sense la possibilitat de poder manipular directament totes les variables que afecten a la mesura (p.ex. la proximitat a una carretera de dos classes diferents, la quantitat de cotxes que passen per davant d'un lloc o d'un altre).

Tot i que s'han recollit les produccions de l'alumnat per a tot el procés de la recerca (disseny de preguntes investigables, planificació del material i disseny de la recollida de dades i la seva anàlisi, expressió de la predicció i la seva justificació, anàlisi de dades i expressió dels resultats i les conclusions) utilitzant l'eina didàctica PaPER (Tena & Couso, 2020), en aquest estudi 3 ens centrem únicament en la primera part d'aquesta eina, és a dir, en les dades relacionades amb la primera de les demandes: el disseny de les preguntes investigables escolars (veure Figura 19).



**QUÈ VULL INVESTIGAR?**




Aquesta ha de ser una pregunta investigable: que ens ajudi a saber més coses del problema plantejat, que no es pugui resoldre buscant a internet sinó que hageu de recollir dades per respondre-la, que no es pugui respondre amb sí o no, que hageu de recollir dades amb el material i les dades que teniu. Per això ha de ser el més concreta possible i ha de relacionar diverses variables.

\* Omple aquest apartat incorporant aquells canvis que consideres necessaris després de parlar amb el teu/vea mestre/a

**Figura 19.** Enunciat de l'apartat relacionat amb les preguntes investigables de l'eina didàctica bastida PaPER utilitzat a l'activitat 2.2. A partir d'aquest s'han recollit les dades principals de l'estudi 3. A la part superior amb el fons blanc es troba la pregunta-guia d'aquest apartat (què vull investigar?), un conjunt de criteris a tenir en compte pel seu disseny i un espai en blanc perquè l'alumnat escrigui la pregunta investigable. A la part inferior amb el fons blau, es troba un altre espai perquè l'alumnat escrigui la pregunta investigable reformulada després de rebre el feedback del/la mestre/a.

Tal com s'ha expressat en seccions prèvies d'aquesta tesis doctoral, la recerca al voltant de les preguntes investigables és especialment rellevant, ja que aquestes són considerades per la majoria d'autors un element essencial per a la realització de recerques científiques (Bell et al., 2010; De Joolingen & Zacharia, 2009; NRC, 2012; Pedaste et al., 2015; Schwarz & White, 2005). En aquest sentit, Sanmartí & Márquez (2012), seguint la dita popular, coincideixen en que una pregunta ben formulada és més de mitja investigació. A més a més, les recerques que han aprofundit en l'anàlisi de les preguntes investigables realitzades tant pels docents (Joglar & Rojas, 2019) com per l'alumnat (Ferrés-Gurt, 2017; García González & Furman, 2014; Lombard & Schneider, 2013) subratllen que el seu disseny suposa un repte.

Seguint algunes recerques anteriors, les preguntes dissenyades per l'alumnat s'han recollit en format escrit (Cruz-Guzmán, García-Carmona y Criado, 2017; Ferrés-Gurt, 2017a; García González & Furman, 2014; Lombard & Schneider, 2013; Rojas & Joglar, 2017) en tres moments de la intervenció educativa o SEA/DI amb característiques didàctiques diferents. Tal com es pot observar a la figura a continuació (Figura 20), les primeres preguntes dissenyades són de l'alumnat individualment abans de rebre cap suport. Aquest primer moment de recollida respon a la necessitat de conèixer quin tipus de preguntes dissenya l'alumnat del cicle superior de primària abans de rebre cap suport per part dels docents i previ a la discussió amb els seus iguals que, tal com apunten algunes recerques, pot tenir una gran influència (Chin & Osborne, 2010). El segon moment de recollida ha estat després del treball en grups de 3-5 alumnes i de l'ús de la plantilla PaPER amb els criteris que apareixen en ella (Tena & Couso, 2020). Per últim, s'han recollit les preguntes dissenyades per l'alumnat després del treball en grup i de rebre un feedback o comentaris qualitius orientats a millorar la producció ben ajustats per part del docent i/o investigadora observadora participant.

Moment 1 (M1)		Moment 2 (M2)		Moment 3 (M3)
Moment inicial sense cap suport	Treball en grup i andamiatge amb la eina didàctica PaPER	Després de l'ús de l'eina didàctica d'andamiatge PaPER	Treball en grup i feedforward docent ajustat	Després del feedforward docent ajustat
 Individual		 Grup (3-5 persones)		 Grup (3-5 persones)
Preguntes recollides n=32		Preguntes recollides n=13		Preguntes recollides n=13

*Figura 20. Caracterització dels 3 moments de recollida de les produccions de l'alumnat que es consideren les dades principals d'aquest estudi: les preguntes investigables dissenyades per l'alumnat al llarg de l'activitat 2.2.*

En total s'han recollit 58 produccions de l'alumnat de les dues escoles on s'ha fet un seguiment més exhaustiu, les escoles E1 i E2 ([enllaç](#) a l'apartat participants on es detallen les característiques principals d'aquestes escoles). Com es pot veure a la figura anterior (Figura 20), 32 produccions s'han recollit individualment a l'inici, 13 produccions s'han recollit de manera grupal després de l'ús de la plantilla PaPER i 13 produccions s'han recollit de manera grupal després del feedforward docent ajustat. Totes elles formen part de la publicació 3 "El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria" ([enllaç](#)).

A banda de les dades principals, també s'han recollit gravacions en àudio i vídeo de les posades en comú i treball de quatre dels grups d'alumnes implicats al llarg de tot el disseny, així com notes de la investigadora durant tota la implementació de la SEA/DI. Aquestes han estat considerades les dades secundàries d'aquest estudi. Tal com es posa de manifest en els següents apartats, aquestes dades secundàries han estat clau tant per conèixer aspectes contextuals de les preguntes de l'alumnat rellevants per a la seva anàlisi i interpretació i que no sempre quedaven recollides a les produccions (p.ex. quines eren les característiques diferencials en termes de proximitat a les fonts de contaminació... dels llocs on l'alumnat volia fer les mesures). A més a més, aquestes dades també han permès la triangulació de les fonts de dades (Cohen et al., 2018) tal com expliquem més endavant a l'apartat de fiabilitat i validesa d'aquest estudi ([enllaç](#)).

### 5.5.2. ANÀLISIS DE LES DADES DE L'ESTUDI 3

Per a l'anàlisi dels dissenys de preguntes investigables de l'alumnat s'ha optat per una anàlisi qualitativa-interpretativa tot refinant la categorització mitjançant el mètode de comparació constant (Cohen et al., 2018; Miles et al., 2014) amb ajuda del software d'anàlisi de dades l'Atlas.ti (versió 9). Quan ha estat necessari, però, s'han incorporat estratègies pròpies de l'anàlisi quantitativa.

Per a aquesta anàlisi s'han implementat diversos cicles iteratius de preparació de les dades, anàlisi i codificació per a la definició de les categories i anàlisi per a la cerca de patrons entre les categories (Miles et al., 2014). Tot i que a continuació, es descriuen els processos linealment, aquests s'han donat en espiral al llarg de tota la investigació, anant i tornant d'un procés a l'anterior i fins i tot, solapant-se en alguns casos fins a la realització de l'anàlisi final (Hernández-Sampieri et al., 2006).

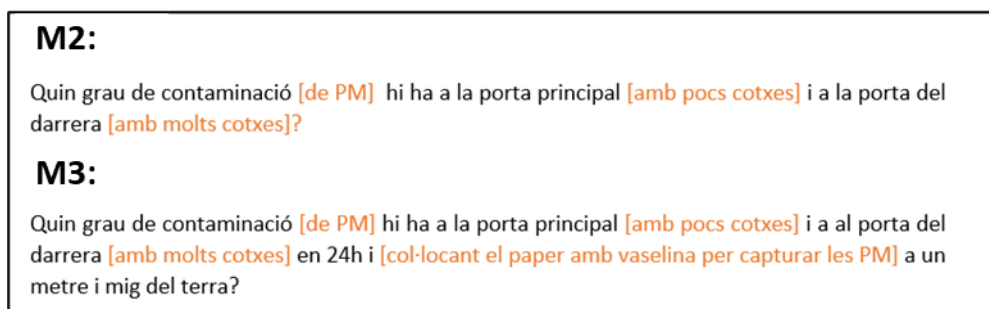




codi també s'ha utilitzat per identificar a l'alumnat i les escoles en les dades audiovisuals i les notes de la investigadora recollides.

Seguint la proposta de Hernández-Sampieri et al. (2006), les dades preparades per a l'anàlisi s'han anomenat amb un codi que permet la identificació de les característiques principals d'aquests: la data de recollida, escola, curs i classe, sessió, temàtica, tipologia de dades i codi del grup/alumne (p.ex. 2020.01.16\_E1\_6A\_S3\_Inici Recerca M1\_Preg\_A17 ). El conjunt de dades preparades, classificades i codificades s'ha recollit en una taula que ens ha permès obtenir un registre complet de totes elles (veure exemple a l'annex 4.2., [enllaç](#)).

En una primera revisió de les dades, abans d'iniciar la codificació, s'ha observat la necessitat d'incorporar a la transcripció de les preguntes informació rellevant sobre el context de les mateixes que l'alumnat de primària no incloïa explícitament a les seves produccions però, a les que sí que feia referència en les posades en comú gravades o en els intercanvis verbals amb docents i/o investigadora. Així, s'han revisat les dades secundàries recollides (gravacions i notes de la investigadora) i en els casos necessaris, s'ha incorporat informació extra necessària per a la interpretació entre claudàtors i de color taronja tal com es veu al següent exemple (Figura 22):



*Figura 22. Exemple de les preguntes dissenyades pel grup 6 de l'escola E1 (G6\_E1) amb anotacions relacionades amb el context i idees expressades en les posades en comú entre claudàtors i de color taronja.*

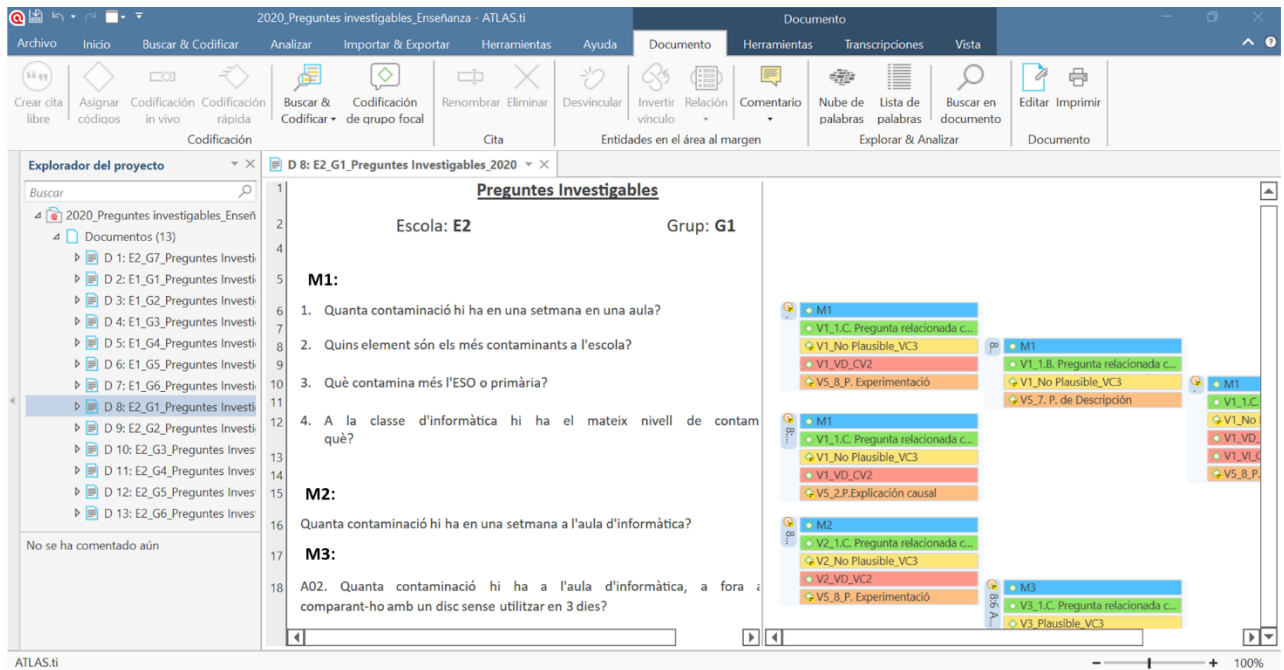
Un cop incorporada la informació rellevant a les transcripcions i com a part del procés de codificació oberta o de primer nivell (Hernández-Sampieri et al., 2006; Miles et al., 2014), s'ha definit la unitat d'anàlisi, que en el cas d'aquest estudi 3, és l'expressió d'una idea entesa com a un element de la pregunta (p.ex. una variable, un context, un espai un temps, etc.). Aquestes es consideren unitats de "flux lliure" (Hernández-Sampieri et al., 2006) perquè no són equivalents entre si pel que fa a les seves dimensions. Així, en alguns casos l'expressió d'una idea s'ha considerat només una paraula de la pregunta i, en canvi, en altres casos s'ha considerat la pregunta completa.

Un cop definides les unitats d'anàlisi i identificades en forma de cita al programa Atlas.ti s'han definit les categories d'anàlisi de manera inductiva-deductiva. Així, algunes categories han emergit directament de les dades (p.ex. 1.1.Tangencial; 3.A.2. con variable dependiente...) mentre que d'altres, especialment les categories associades a la dimensió 2. Tipologia de preguntes de la xarxa sistèmica de categories finals (p.ex. 2.1.Generalitzación; 2.5. Comprobación...), s'han inspirat en les recerques anteriors de Roca Tort et al. (2013), Cruz-Guzmán et al. (2017) o García González i Furman, (2014).

Les categories inicials provisionals s'han anat aplicant a les dades recollides (Figura 23) i s'han anat modificant de manera iterativa (fent agrupacions, disgregacions, canvis, refinaments...) fins a la saturació del sistema de categories, és a dir, fins que la totalitat de les dades es poden



categoritzar amb el sistema triat. Les categories d'anàlisi finals formen part de l'article 3 d'aquest estudi ([enllaç](#)).



**Figura 23.** Imatge representativa de la codificació feta amb Atlas.ti 9 dels dissenys de preguntes científicament investigables de l'alumnat. A l'esquerra de la pantalla es pot veure una llista del conjunt de documents per analitzar, al centre de la imatge un exemple del tipus de document amb les preguntes individuals de l'alumnat a M1 (versió 1) i les preguntes en grup a M2 (versió 2) i M3 (versió 3) d'un grup en concret (Grup 1 de l'escola E2). A la dreta de la pantalla s'observen cadascun dels codis assignats. Cal esmentar que en aquesta imatge no es visualitzen els codis intel·ligents generats posteriorment en l'anàlisi.

Un exemple del refinament que han patit les categories per a l'anàlisi de les preguntes científicament investigables dissenyades per l'alumnat al llarg d'aquesta recerca el trobem en comparar el primer sistema de categories proposat (Tena i Couso, 2021; Taula 11) i el sistema de categories final que forma part de l'article 3 d'aquesta tesi (Tena i Couso, en premsa; [enllaç](#)).

**Taula 11.** Exemple de categories incipients per a l'anàlisi dels dissenys de les preguntes científicament investigables dissenyades per l'alumnat. Aquesta taula forma part de la contribució feta al XI Congrés Enseñanza de las Ciencias i es troba recollida al llibre d'actes del mateix (Tena y Couso, 2021).

Dificultad	Ejemplos	Nº
<b>No variable control:</b> Las preguntas planteadas no hacen referencia a las variables que se controlaran de manera explícita	¿Cuánta contaminación hay en las aulas de 4º ESO B, 1º B, música, plástica y comedor? [E2_G7_V3]	49
<b>No concreta:</b> La pregunta planteada es genérica (no plantea una comparación específica que puede ser testada), no orienta sobre los materiales se utilizaran, la metodología, los resultados que se esperan...	¿Cuál es el sitio más contaminado de la escuela? [E2_G4_V1]	32
<b>No cómo:</b> La pregunta planteada es una pregunta de descripción de fenómenos, generalización, gestión...(tipo porque) en vez de comprobación, predicción, explicación causal y/o evaluación (tipo cómo, de qué manera, cuando...) la cual difícilmente puede ser respondida con un planteamiento experimental.	¿Qué hay en nuestro aire? (E2_G7_V1)	21
<b>No variables:</b> Las preguntas planteadas no relacionan factores y variables relevantes para la experimentación de manera explícita	¿Cuánta contaminación hay en la escuela? [E1_G3_V1]	19
<b>No plausible:</b> La pregunta planteada no se puede llevar a cabo ya que el interrogante es inabordable experimentalmente, no se pueden obtener datos con el material del que se dispone y las condiciones en las que se debe llevar a cabo para responderla	Para llenar todo el filtro [que los científicos usan para medir la contaminación de manera profesional]. ¿Cuánto tiempo tiene que estar en nuestra escuela? (E2_G3_V1)	13
<b>No experimental:</b> La pregunta planteada es una pregunta de información la cual para ser respondida no es necesario plantear diseño experimental, sino que requiere de una búsqueda de información por internet, libros... donde se pueden encontrar las conclusiones de una gran cantidad de estudios.	¿Qué contaminación hay en el aire de la escuela y en el aire de Barcelona? [E1_G5_V1]	12
<b>No fenómeno:</b> Las preguntas planteadas no se pretenden responder/ aportar al fenómeno planteado al inicio y que se quiere estudiar	[fenómeno planteado: conocer la calidad del aire de su escuela] ¿Cuánto CO2 sacamos por la boca con la respiración? [E2_G6_V1]	12
<b>No permite argumentación:</b> La pregunta planteada no requiere de argumentación, sino que se puede contestar de manera afirmativa o negativa sin necesidad de hacer referencia a las evidencias obtenidas y justificándolas	¿Estamos contaminados? [E2_G5_V1]	4

De manera similar a com s'ha plantejat a l'estudi 2, després de la codificació de primer nivell s'ha fet una codificació central o de segon nivell (Hernández-Sampieri et al., 2006; Miles et al., 2014). En aquesta codificació de segon nivell s'han buscat relacions entre les categories identificades amb dos objectius: primer, agrupar i organitzar les categories en dimensions d'anàlisi amb una major "amplitud conceptual" i, després, identificar possibles concurrències entre les diferents categories i dimensions d'anàlisi.

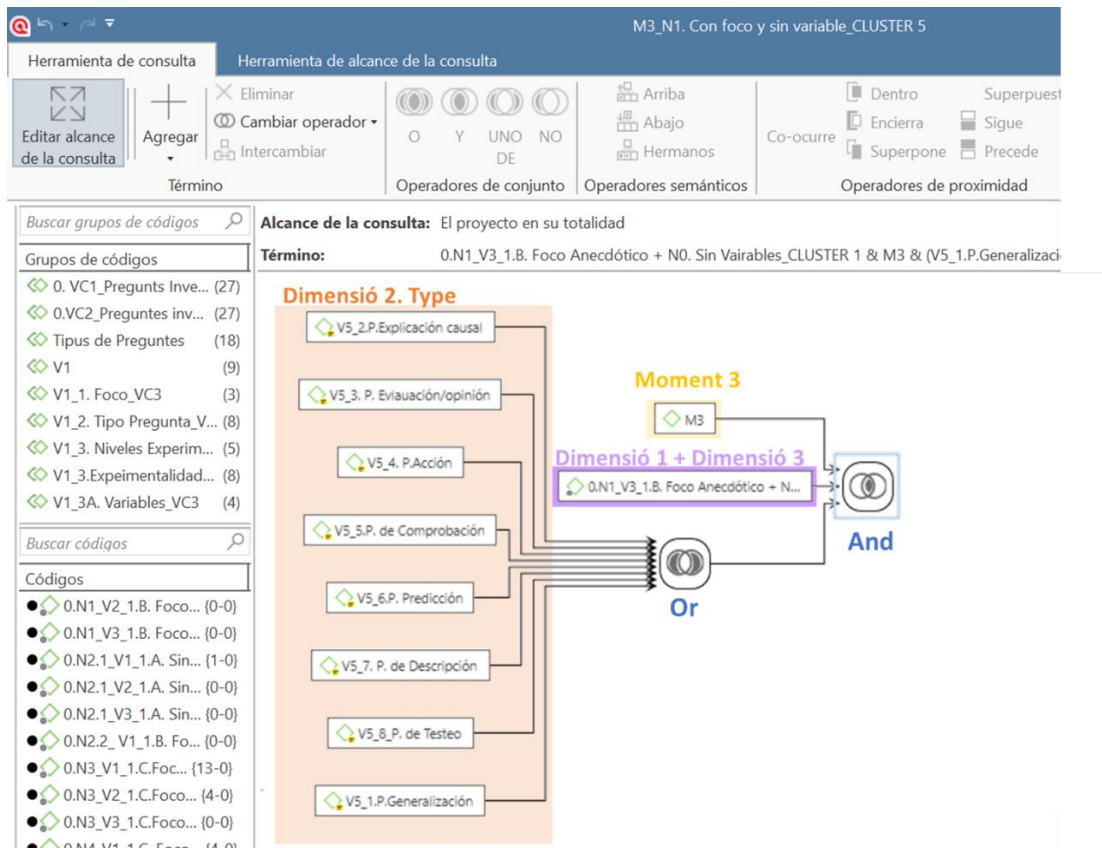
Per a la construcció i definició de les dimensions s'han tingut en compte les similituds i diferències existents entre les categories. Aquestes agrupacions ens han permès identificar i diferenciar tres dimensions clau per a l'anàlisi del que hem anomenat "investigabilitat" de les preguntes: (1) el focus, que fa referència a la relació entre el fenomen que es vol estudiar i la pregunta proposada; (2) la tipologia, que fa referència a l'objectiu o demanda que planteja la pregunta; i (3) l'experimentalitat, que fa referència al grau de concreció i plausibilitat de la pregunta en el context empíric en que es vol respondre (Tena i Couso, en premsa; [enllaç](#)).

A continuació, per a l'anàlisi de la concurrència entre categories de diferents dimensions s'ha fet servir la opció "Taula de concurrències" d'Atlas.ti per identificar en els diferents moments de la recollida de dades (M1, M2 i M3) els patrons de relació més habituals entre dues categories de diferents dimensions. Un exemple d'aquesta anàlisi de concurrència entre les categories 3.B Plausibilitat (eix X) i 3.A. Presència de variables (eix Y) s'observa a la Taula 12. Aquesta anàlisi, per exemple, ens ha permès intuir l'existència d'una certa relació entre el disseny de preguntes plausibles i la presència explícita de la variable independent en elles.

**Taula 12.** Exemple de taula d'anàlisi de la concurrència de codis relacionades amb les preguntes científicament investigables dissenyades per l'alumnat. A l'eix X es troben les categories relacionades amb la dimensió 3.B. Plausibilitat i a l'eix Y les categories relacionades amb la dimensió 3.A. Presència de variables. A la part superior de la taula s'identifiquen els diferents moments de recollida de dades (M1 en verd, M2 en blau i M3 en groc)

		M1		M2		M3	
		3.B. PLAUSIBILITAT					
		3.B.1.No plausible	3.B.2. Plausible	3.B.1.No plausible	3.B.2. Plausible	3.B.1.No plausible	3.B.2. Plausible
3.A. PRESENCIA DE VARIABLES	3.A.1. Sin variables	10					
	3.A.1. Son VD	14		4			
	3.A.2. Con VD y VI	4	4	2	7		11
	3.A.3. Con VD, VI y VD						2

Partint d'aquestes primeres concurrències identificades, i amb l'objectiu d'aprofundir i sofisticar l'anàlisi de les relacions entre les categories, s'han generat amb ajuda de l'Atlas.ti "codis intel·ligents" fent ús d'operadors lògics booleans (p. ex. "and", "or"... ) (Figura 24). Aquesta anàlisi a partir dels codis intel·ligents ha estat clau en el cas de les preguntes científicament investigables per a poder definir i caracteritzar els diferents nivells de sofisticació progressiva d'aquestes i, per a la posterior construcció de la progressió d'aprenentatge empírica que forma part de l'article 3 ([enllaç](#)).



**Figura 24.** Exemple de codi intel·ligent generat amb Atlas.ti 9 corresponent al nivell de sofisticació 4. El fons de color taronja emmarca les categories de la dimensió 2. Tipologia de preguntes, el fons lila les dimensions 1 i 3 de manera conjunta en un codi intel·ligent prèviament dissenyat i amb el fons groc el moment de l'anàlisi (M3). Sota de cadascun dels operadors lògics es troba la seva correspondència en paraules.

### 5.5.3. FIABILITAT I VALIDESA DE LA METODOLOGIA DE RECERCA EMPRADA

---

La fiabilitat i validesa de la metodologia en aquest estudi 3 es basa en el marc de Lincoln & Guba (1985) i en diverses recerques i marcs posteriors que l'han utilitzat com a referència (Hernández-Sampieri et al., 2006; Lincoln, 2007). Aquest marc concreta cinc criteris clau a tenir en compte per garantir la fiabilitat i validesa de les recerques qualitatives: (1) la credibilitat, és a dir, fins a quin punt la recollida, comprensió i transmissió dels significats, vivències i conceptes dels participants es fa amb profunditat i amplitud; (2) la transferibilitat, és a dir, fins a quin punt els resultats són aplicables en altres contextos (Williams et al., 2005); (3) la dependència, és a dir, fins a quin punt diferents investigadors efectuen la mateixa anàlisi i generen resultats equivalents; (4) la confirmabilitat, és a dir, fins a quin punt s'han minimitzat els baixos i tendències de l'investigador/a (Mertens, 2005) i (5) l'autenticitat, és a dir, fins a quin punt les dades que es reprodueixen són reals i les imatges són produccions de l'alumnat (Lincoln, 2007).

Per garantir la qualitat dels criteris anteriors, s'ha seguit una estratègia similar a la proposada a l'estudi 2 ([enllaç](#)) i basada en autors com Franklin i Ballan (2005) o Mertens (2005) entre d'altres.

D'aquesta manera, per tal de minimitzar l'impacte o distorsions en la recollida de dades s'ha optat, en aquesta recerca, per dues estratègies: la recollida de produccions de l'alumnat que formen part de la pròpia SEA/DI i la presència constant al llarg de tota la implementació de la investigadora principals i dels instruments de recollida de dades (gravadores d'àudio, càmeres de vídeo...). Tal com s'ha destacat a l'apartat d'anàlisi, aquesta estada prolongada ha estat clau per conèixer les característiques del context i dels participants en profunditat garantint així una major credibilitat, dependència i confiabilitat de l'anàlisi i resultats de l'estudi.

Una altra de les estratègies seguides ha estat la triangulació de fonts de dades a partir de l'anàlisi tant de les produccions com de les gravacions audiovisuals i notes de la investigadora recollides durant la realització de l'activitat de disseny de les preguntes investigables i les diferents posades en comú.

A més a més, per assegurar la completesa i transferibilitat tant del sistema de categories com de l'anàlisi i dels resultats s'han tingut en compte les idees d'altres recerques similars tant amb alumnat de primària (García González & Furman, 2014) com, sobre tot, amb alumnat de més edat (Ferrés-Gurt, 2017a; Lombard & Schneider, 2013) i docents (Cruz-Guzmán et al., 2014; Joglar & Rojas, 2019). Així, el sistema de categories final ([enllaç](#)) no només incorpora categories presents a les dades sinó que també inclou categories teòriques procedents d'altres recerques com, per exemple, la categoria "2.6. Preguntes de predicció" que ha estat destacat en les recerques de Roca Tort et al., (2013) i Rojas & Joglar (2017) però que no apareix en les dades analitzades d'aquest estudi.

En relació a l'anàlisi, al cap d'un mes de l'anàlisi definitiu s'ha repetit en la seva totalitat obtenint resultats similars i assegurant així la seva validesa interpersonal (Vázquez & Angulo, 2003).

Per últim, en termes d'autenticitat, els exemples que apareixen al sistema de categories i als resultats de l'article reflecteixen les produccions de l'alumnat. Tal com hem expressat anteriorment, en alguns casos no ha estat possible mostrar la pregunta/preguntes escrites per l'alumnat per diversos motius. La manca de qualitat de les produccions, la necessitat de fer una traducció de l'idioma original (català) a l'idioma de la publicació (castellà en el cas de l'article 3) i la necessitat d'incorporar elements contextuals com a part de la pregunta que facilitessin la comprensió han estat els motius més rellevants. En tots els casos s'ha intentat garantir una

SECCIÓ 5. ESTUDI 3. Anàlisi de la confiabilitat de la SEA/DI en termes del desenvolupament de l'habilitat de dissenyar preguntes investigables

traducció tan fidedigna com ha sigut possible i sempre que les produccions reproduïdes no són originals i/o s'han incorporat aclariments a elles, s'ha identificat utilitzant altres colors i claudàtors.

### 5.5.4. PRODUCCIONS DE L'ESTUDI 3

---

El següent article (identificat com a article 3 en aquest compendi) publicat a la revista "Enseñanza de las Ciencias" busca respondre a les preguntes 3.1. i 3.2. d'aquesta tesi doctoral relacionades amb la confiabilitat en termes de l'habilitat de dissenyar preguntes científicament investigables. En ell s'analitza com evolucionen els dissenys de preguntes investigables elaborades per l'alumnat amb l'ús de diferents estratègies didàctiques, i es proposa una progressió d'aprenentatge empírica que descriu el grau de sofisticació d'aquestes preguntes ([enllaç](#)). Concretament l'article gira entorn a l'anàlisi de les preguntes dissenyades per l'alumnat del cicle superior de primària en tres moments diferents de la SEA/DI i amb diferents estratègies didàctiques involucrades: a l'inici individualment i sense cap suport, en grup i després de l'ús de la bastida PaPER i en grup al final després de rebre un feedforward docent ajustat.

L'anàlisi realitzat ens ha permès observar que l'alumnat de 10-12 anys és capaç de dissenyar preguntes científicament investigables i identificar alguns dels reptes principals que aquesta activitat suposa. A més a més, els resultats obtinguts constaten la rellevància de les bastides ben dissenyades per ajudar a l'alumnat però, sobre tot, la importància del feedforward docent per a la incorporació d'aquells aspectes que suposen un major repte per a l'alumant.

Per últim, partint de la anàlisi de la concurrència, a l'article es proposa una progressió d'aprenentatge de l'habilitat de dissenyar preguntes investigables en que s'identifiquen cinc nivells o estadis i les "barreres" o dificultats que l'alumnat supera al passar d'un nivell a un altre.

A continuació es troba l'article en el seu format de publicació. En aquest es detalla la recerca realitzada així com les discussions que se'n deriven dels resultats i les seves implicacions.





# El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria

## Designing Research Questions with 10-12-Year-Old Students

Èlia Tena, Digna Couso

*Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España*  
elia.tena@uab.cat, digna.couso@uab.cat

**RESUMEN** • El diseño de preguntas investigables es una destreza clave en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias que debe fomentarse desde edades tempranas. Sin embargo, su desarrollo en las aulas de primaria no es común, y se plantea generalmente en el contexto de investigaciones totalmente abiertas y para alumnado de edades avanzadas. En este artículo se analiza la evolución del desempeño de esta destreza en alumnado de 10-12 años en tres momentos clave de una secuencia de enseñanza y aprendizaje de indagación basada en la modelización. El análisis de las preguntas del alumnado evidencia que es capaz de diseñar preguntas investigables e ir las sofisticando cuando cuenta con las ayudas necesarias. Además, los resultados nos han permitido trazar una progresión de aprendizaje empírica para alumnado de primaria donde se identifican hitos clave en el camino de desarrollo de esta destreza.

**PALABRAS CLAVE:** Preguntas investigables; Educación primaria; Indagación; Práctica científica; Contaminación atmosférica.

**ABSTRACT** • Designing research question has been identified as a main skill in teaching and learning science that should be promoted from early age. However, designing research questions is not a common activity in schools and is often considered as an advanced skill for upper-secondary/university students that must be developed in the context of open inquiries. In this paper the evolution of 10-12-year-old students' skill to design research questions has been analysed in three key moments of a model-based inquiry teaching and learning sequence. The analysis of students' designed questions show that they can design and improve iteratively research questions if they have appropriate scaffoldings to do it. Additionally, results allowed us to design an empirical learning progression for primary school students where some stepping stones have been identified.

**KEYWORDS:** Investigable questions; Primary school; Inquiry; Scientific practices; Air pollution.

Recepción: noviembre 2021 • Aceptación: mayo 2022

Tena, E. y Couso, D. (EN PRENSA). El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 1-23.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5573>

## INTRODUCCIÓN

Las preguntas tienen un papel destacado en la construcción de conocimiento, tanto en ciencia como en el aula de ciencias (Chin y Osborne, 2008; Roca Tort et al., 2013). Por ello, existen numerosas investigaciones sobre esta temática (Ferrés-Gurt, 2017; García González y Furman, 2014; Herranen y Aksela, 2019; Lombard y Schneider, 2013).

En el aula de ciencias indagadora las preguntas que se plantean son muy diversas tanto respecto a su formato (orales o escritas) como a los momentos en que se formulan y los objetivos que persiguen (Rojas y Joglar, 2017). Algunos ejemplos son: las preguntas de los docentes para iniciar una indagación (Jiménez-Liso, 2020), las preguntas para guiar al alumnado en las distintas fases de un proceso indagador (Lombard y Schneider, 2013), las preguntas del alumnado para seguir la acción, etc.

La importancia que el marco socioconstructivista ha otorgado a la interacción dialógica en el aula y al papel activo del alumnado en la construcción de conocimientos ha aumentado el interés hacia las preguntas del alumnado y su relación con la construcción de significados. Estas preguntas se consideran un componente clave de la competencia científica del alumnado (NRC, 2012), y se han relacionado con el pensamiento crítico y la autorregulación, entre otros (Harlen, 2004; Joglar, 2014). Entre las diferentes tipologías, numerosos autores han identificado las preguntas investigables del alumnado como aquellas que deben recibir una mayor atención en el aula de ciencias indagadora (Ferrés-Gurt, 2017; Harlen, 2004).

Sin embargo, las investigaciones sobre las preguntas del alumnado en condiciones de aula habituales subrayan que los niños y las niñas plantean muy pocas preguntas espontáneamente y que a menudo estas preguntas son de bajo nivel cognitivo, cerradas, fácticas o procedimentales y poco orientadas científicamente (Chin y Osborne, 2008). Además, la investigación sobre la destreza de diseñar preguntas investigables se ha centrado principalmente en las etapas de bachillerato y universidad (Ferrés-Gurt, 2017; Lombard y Schneider, 2013). En las aulas de primaria, incluso en aquellas aulas centradas en la indagación, estas no parecen recibir suficiente atención.

Desafortunadamente, se da la paradoja de que en el caso de las preguntas investigables, como para el resto de prácticas científicas escolares, el alumnado pueda superar las dificultades e ir iterativamente sofisticando sus destrezas, lo que requiere involucrarse en su diseño desde las primeras etapas y con los apoyos necesarios (NRC, 2012).

Por todo ello, en esta investigación nos centramos en analizar la destreza de diseñar preguntas investigables del alumnado de 5.º y 6.º curso de primaria (10-12 años) al involucrarse en una investigación genuina semiabierta en un contexto sociocientífico (la contaminación del aire) y su evolución tras el uso de dos estrategias didácticas escogidas para favorecer su desarrollo (andamiaje y *feedforward*). Además, realizamos una propuesta de progresión de aprendizaje empírica respecto a la destreza de diseñar preguntas investigables que puede orientar los esfuerzos del profesorado en este ámbito.

## MARCO TEÓRICO

### La indagación como práctica científica

El enfoque de las prácticas científicas para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias cuenta actualmente con un gran reconocimiento (Crujeiras y Jiménez Aleixandre, 2018; NRC, 2012; Osborne, 2014). Este marco enfatiza la participación del alumnado desde los primeros años de la escolaridad en actividades discursivas, cognitivas y sociales análogas a las de la ciencia real (Couso et al., 2020). Ello implica involucrar al alumnado en actividades como la construcción de teorías y modelos (modelización); la recogida y el análisis de datos de observaciones y/o experimentos (indagación), y la cons-

### El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria

trucción de argumentos y su evaluación sobre la base de pruebas (argumentación) (Duschl y Grandy, 2012).

A raíz del informe Rocard (2007), y gracias al impulso de propuestas bien fundamentadas como la del NRC (2012), la enseñanza y aprendizaje de las ciencias basada en la indagación ha ido ganando protagonismo en las aulas, documentos e informes curriculares de distintos países (Romero-Ariza, 2017).

Uno de los retos principales de este marco es su definición, ya que el término *indagación* se ha utilizado para propuestas muy variadas que difieren entre ellas en la tipología de actividades, la autonomía otorgada al alumnado y el papel docente (Furtak et al., 2012; Romero-Ariza, 2017). En consecuencia, a menudo, pero especialmente en la etapa de primaria, se han planteado actividades de indagación pobres y simplificadas ligadas a la idea de un «método científico» estereotipado y universal, que reflejan una imagen desvirtuada y poco adecuada de cómo la ciencia construye significados (Couso, 2014; Windschitl et al., 2008).

De acuerdo con el marco de la indagación basada en la modelización (Windschitl et al., 2008; Jiménez-Liso et al., 2021; Romero-Ariza, 2017), las indagaciones de calidad son aquellas que involucran al alumnado tanto en el desarrollo de destrezas científicas (por ejemplo, el diseño de preguntas investigables, la recogida de datos, etc.) como en la construcción de modelos conceptuales clave (por ejemplo, la idea de materia), de manera epistemológicamente coherente con las maneras de hacer, pensar, hablar y sentir de la ciencia (Izquierdo, 2005; Adúriz-Bravo, 2021).

#### Las preguntas investigables en el aula de ciencias

Las preguntas investigables son preguntas de orientación empírica que relacionan cambios y variables en un fenómeno y que para responderlas el alumnado se debe involucrar en un proceso de recogida y/o análisis de datos y extracción de conclusiones (Ferrés-Gurt, 2017; García González y Furman, 2014; Harlen, 2004). Estamos de acuerdo con Cerda (2007) en que además de las características anteriores, las preguntas investigables en las aulas también deben ser sencillas y plausibles, es decir, factibles de ser abordadas en un período de tiempo prudente y en el contexto escolar en el que se llevan a cabo. Finalmente, y siguiendo la idea de indagación modelizadora (Adúriz-Bravo, 2021), estas preguntas han de servir para profundizar en el proceso de modelización del fenómeno estudiado.

Las investigaciones sobre preguntas investigables en el aula apuntan que su formulación por parte del alumnado (y profesorado) es una actividad compleja que implica, por un lado, movilizar habilidades de alto nivel cognitivo (por ejemplo, relacionar informaciones, identificar problemas, etc.) (Zoller y Tsaparlis, 1997) y, por otro, la actividad metacognitiva de identificar, poner en juego y cuestionar los propios modelos e ideas (Sanmartí y Márquez, 2012; Schwarz y White, 2005).

Los resultados sobre el diseño de preguntas investigables en el aula subrayan que su formulación supone un gran reto para el alumnado, incluyendo el alumnado de bachillerato y universidad que ha optado por estudios científico-tecnológicos (Ferrés-Gurt, 2017; Lombard y Schneider, 2013) y también para los docentes (Joglar y Rojas, 2019). Una de las dificultades más comunes apuntadas por la literatura es que las preguntas planteadas por el alumnado son habitualmente preguntas informativas, es decir, cuestiones que se centran en la búsqueda de información factual y/o procedimental (Chin y Osborne, 2008; Harlen, 2004). En muchas ocasiones estas preguntas son inabordables experimentalmente, sobre todo en el tiempo y con los recursos disponibles, además de estar poco relacionadas con ideas relevantes científicamente (Sanmartí y Márquez, 2012; Ferrés-Gurt, 2017), a menudo debido a que son preguntas muy mediatizadas (Garriga et al., 2012).

Las investigaciones apuntan que la superación de las dificultades y el diseño de preguntas investigables no se dan de manera espontánea, sin un trabajo enfocado a ello (Ferrés-Gurt, 2017; Sanmartí y Márquez, 2012). No obstante, incluso en las aulas indagadoras de ciencias el desarrollo de esta des-



treza no es una actividad tan habitual, como pueden serlo la identificación de variables (Kuhn y Dean, 2005) o el diseño de investigaciones dirigidas (Tamir y García, 1992).

En las aulas en las que sí se ha realizado un trabajo en el desarrollo de la competencia de elaboración de preguntas investigables, su diseño se ha vinculado directamente con indagaciones abiertas en las que el alumnado debe plantear y llevar a cabo todas las fases de una investigación de manera autónoma (Herranen y Aksela, 2019). Este tipo de indagaciones, a pesar de tener un gran potencial para el desarrollo de las diferentes destrezas, especialmente si son genuinas (Ogborn, 2012), a menudo han recibido críticas por su falta de profundidad, por otorgar al alumnado un papel demasiado autónomo y por contar con un docente poco activador y que queda en segundo plano (Romero-Ariza, 2017).

### Estrategias docentes para el desarrollo de preguntas investigables en el aula

En los últimos años, numerosas investigaciones han identificado el papel del docente activador como clave para la obtención de buenos resultados en las propuestas de indagación (Chin y Osborne, 2008; Couso, 2014; Furtak et al., 2012). Concretamente, los resultados sobre el diseño de preguntas investigables del alumnado con apoyo docente apuntan que, con una instrucción adecuada y los andamiajes necesarios, el alumnado es capaz de plantear, revisar y mejorar sus preguntas y convertirlas en preguntas cada vez más investigables, complejas y adecuadas, superando las dificultades apuntadas anteriormente (Ferrés-Gurt, 2017; Grunwald y Hartman, 2010). Por ello, diversas investigaciones buscan analizar qué estrategias docentes son clave para inducir y estimular el desarrollo de destrezas como el diseño de preguntas por parte del alumnado (Crujeiras y Jiménez-Aleixandre, 2018; Joglar, 2014). Desde una perspectiva socioconstructivista del aprendizaje, tanto el uso de andamiajes como la proalimentación o *feedforward* docente son dos estrategias privilegiadas para ello.

Comúnmente, el andamiaje es entendido como un conjunto de apoyos planificados por el docente y adaptados al nivel del alumnado que tienen como objetivo ayudarlo puntualmente en el desarrollo de un conocimiento o destreza que se encuentra en su zona de desarrollo próximo, yendo más allá de lo que el alumnado por sí solo sería capaz de plantear (van de Pol et al., 2010). De acuerdo con este autor, un andamiaje debe adaptarse al nivel del alumnado, transferirle gradualmente la responsabilidad de la tarea y retirarse de forma paulatina. Una forma interesante de andamiaje es el uso de diseños didácticos que proporcionan pistas o sugerencias de acción al alumnado, ya que les permiten mejorar tanto las preguntas investigables concretas que realizan como la destreza de diseñarlas en general (Chen et al., 2015; Puntambekar y Kolodner, 2005).

Desde una perspectiva de evaluación formativa-formadora que compartimos con Sanmartí (2020), una estrategia docente clave es el uso de la proalimentación o *feedforward* docente, es decir, el comentario evaluativo que hace el profesorado con el objetivo de ayudar al alumnado a avanzar en la construcción de conocimiento y destrezas, incluyendo sugerencias o preguntas sobre cómo mejorar (Conaghan y Lockey, 2009).

Las preguntas del profesorado, tanto en el uso de andamiajes como en el *feedforward*, resultan de gran interés (Joglar y Rojas, 2019). Sin embargo, en esta investigación no analizamos cómo son, sino qué efecto tienen en las producciones del alumnado.

### Progresiones de aprendizaje empíricas

De acuerdo con Scott et al. (2019), las progresiones de aprendizaje empíricas en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias son un conjunto de hipótesis comprobables empíricamente que dibujan la manera como se espera que evolucionen las ideas y/o las formas de pensar de los estudiantes sobre un tema

### El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria

concreto a medida que avanzan en sus estudios. Así, las progresiones de aprendizaje identifican un «camino de aprendizaje» probable que parte de ideas o habilidades iniciales del alumnado, pasa por un conjunto de hitos o estadios intermedios cada vez más sofisticados y llega hasta las ideas o habilidades objeto de aprendizaje (Corcoran et al., 2009). En este camino de sofisticación de las ideas o destrezas del alumnado se cruzan fronteras clave que señalan las principales dificultades del alumnado (Vergara et al., 2020; Zabel y Gropengiesser, 2011).

Desde esta perspectiva, las ideas o habilidades intermedias no son consideradas errores, sino ideas que actúan como hitos o lugares seguros del camino (*stepping stones* en inglés) necesarios y útiles para la construcción de ideas y/o el desarrollo de habilidades cada vez más complejas y parecidas a las de la ciencia erudita.

A pesar de que la mayoría de investigaciones y progresiones de aprendizaje empíricas existentes se centran en el análisis de las grandes ideas de la ciencia, estamos de acuerdo con Schwarz et al. (2009) en que también es importante analizar las progresiones de aprendizaje del alumnado en las diferentes prácticas y/o habilidades científicas.

Conocer las ideas/habilidades iniciales, finales y los hitos o estadios intermedios en el desarrollo de las ideas y destrezas científicas del alumnado puede ser útil a los docentes tanto para el diseño de andamiajes concretos como para guiar a su alumnado a superar las principales dificultades (Scott et al., 2019).

## OBJETIVOS

Esta investigación busca estudiar las preguntas investigables que plantea el alumnado en el contexto de una problemática sociocientífica actual como la contaminación atmosférica. Concretamente, los objetivos son:

- O1. Analizar el grado de investigabilidad de las preguntas diseñadas por el alumnado de 5.º y 6.º de primaria y su evolución con el uso de diferentes estrategias didácticas (andamiaje y *feedforward*) en el contexto de una secuencia didáctica orientada a investigar y mejorar la calidad del aire en su escuela.
- O2. Diseñar una progresión de aprendizaje empírica que describa el grado de sofisticación de las preguntas investigables del alumnado, identificando los hitos alcanzados, así como las fronteras clave.

## METODOLOGÍA

### Contexto e instrumentos de recogida de datos

Los datos de esta investigación se enmarcan en una secuencia didáctica (SEA) de 8 horas de duración diseñada e implementada iterativamente durante dos cursos (2018-19 y 2019-20) en dos escuelas (E1 y E2) con alumnado de 5.º y 6.º de primaria (Tena, 2021). La SEA se fundamenta en dos ideas clave en didáctica de las ciencias: la enseñanza y aprendizaje de la ciencia como práctica científica (Osborne, 2014) y la contextualización en problemáticas sociocientíficas cotidianas (Jiménez-Liso et al., 2021). Concretamente, tiene como objetivo mejorar la idea de corpuscularidad de la materia y las destrezas de indagación del alumnado al involucrarlo en una indagación modelizadora semiabierto en el contexto de la contaminación atmosférica. Esta SEA busca construir una idea de contaminación atmosférica ligada a la presencia de partículas sólidas en suspensión en el aire (PM en la literatura científica), por su elevada presencia en las ciudades y sus efectos perjudiciales en la salud de los humanos (Gignac et

al., 2021). Así, intenta confrontar las ideas alternativas más comunes del tema (por ejemplo, relacionar contaminación con CO<sub>2</sub> o microorganismos). El diseño final se encuentra disponible en abierto<sup>1</sup>.

Este artículo se centra en la destreza de diseñar preguntas investigables en un contexto empírico semiabierto. Para ello se seleccionaron 40 alumnos de 10-12 años del curso 2019-20 siguiendo un criterio de conveniencia (Miles et al., 2014). Para garantizar cierta variedad se han recogido datos en dos aulas (una de 5.º y otra de 6.º curso) de escuelas diferentes respecto al perfil socioeconómico de las familias y a la manera habitual como el docente trabaja las ciencias en el aula. Como parte de la SEA, el alumnado se ha involucrado en un proceso didáctico similar al propuesto por Sanmartí y Márquez (2012), donde se plantea a niños y niñas una pregunta guía general (¿cómo es la calidad del aire de la escuela?) a partir de la cual deben diseñar una pregunta investigable sobre la temática que puedan responder investigando. Se han recogido un total de 58 producciones del alumnado en tres momentos: 32 preguntas iniciales individuales (M1), 13 preguntas intermedias grupales (M2) y 13 preguntas finales grupales (M3).

Se ha optado en M1 por un diseño individual y sin ninguna guía o ayuda para conocer qué preguntas plantea el alumnado antes de la influencia del trabajo en grupo (Chin y Osborne, 2010). Tras este diseño, se han implementado dos estrategias didácticas para fomentar su revisión: el uso de una plantilla de andamiaje y la guía del alumnado mediante proalimentación o *feedforward* docente.

Así, tras M1, el alumnado se ha unido en sus grupos cooperativos habituales de clase de 3-5 personas (13 grupos en total) y se les ha facilitado la plantilla de andamiaje PaPER (Tena y Couso, 2020). Esta herramienta estructura las diferentes fases de diseño de una investigación (por ejemplo, diferenciando la pregunta investigable del procedimiento de la investigación) y apunta criterios específicos para cada una de las fases en forma de preguntas de autoevaluación (por ejemplo, ¿La pregunta es concreta?: *nos podemos imaginar qué instrumentos se utilizarán, cuáles serán los resultados...*). Tras esta autorrevisión se han vuelto a recoger las producciones del alumnado (M2).

A continuación, para fomentar nuevamente la revisión de las preguntas, las docentes (docente habitual e investigador principal del artículo) han observado las producciones y ofrecido una proalimentación concreta y ajustada a las propuestas de cada grupo. Algunos ejemplos de *feedforward* usado por las docentes para que el alumnado mejorara la investigabilidad de sus preguntas respecto a la identificación de variables han sido: *¿cuando tengáis los resultados de los sitios que proponéis, cómo vais a saber si es mucho o es poco?* o *¿cómo os vais a asegurar de que los resultados sean comparables entre ellos?* Tras este *feedforward* se han recogido las producciones finales del alumnado (M3).

Para la triangulación de los datos, además de las producciones, se han usado grabaciones de las puestas en común y las notas de la investigadora principal con rol docente en la escuela (E1) y como observadora no participante en E2.

### Análisis de datos

Las producciones del alumnado se han transcrito y analizado siguiendo el método de comparación constante hasta la saturación de los datos (Miles et al., 2014) con la ayuda del *software* ATLAS.ti 9.

En un primer ciclo de codificación se han identificado las dimensiones clave para caracterizar las preguntas investigables y su evolución (O1), lo que hemos llamado investigabilidad de las preguntas. Para ello se ha partido de la distinción entre presupuesto (modelo implícito en la pregunta) y demanda (tipología de pregunta) de Roca Tort et al. (2013), concretándolo en dos dimensiones: la relación de la pregunta con el problema guía planteado (la calidad del aire en la escuela) (dimensión 1 en la figura

1. La SEA completa se puede consultar en: <https://ddd.uab.cat/record/225073?ln=ca> y su versión final mejorada en: <https://ddd.uab.cat/record/259686?ln=ca>.



El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria

1) y la tipología de preguntas (dimensión 2 en la figura 1). Además, se ha añadido una tercera dimensión llamada grado de experimentalidad de la pregunta (dimensión 3 en la figura 1). Esta última se relaciona con dos aspectos clave de las preguntas investigables: *a*) la naturaleza empírica y, por tanto, la necesidad de que las cuestiones establezcan relaciones entre variables que solo pueden contestarse recogiendo datos (categoría 3.A. naturaleza empírica); y *b*) la plausibilidad de la pregunta, es decir, preguntas que orienten investigaciones plausibles de ser realizadas en el contexto real del aula y en las condiciones en las que se puedan llevar a cabo (categoría 3.B. plausibilidad).

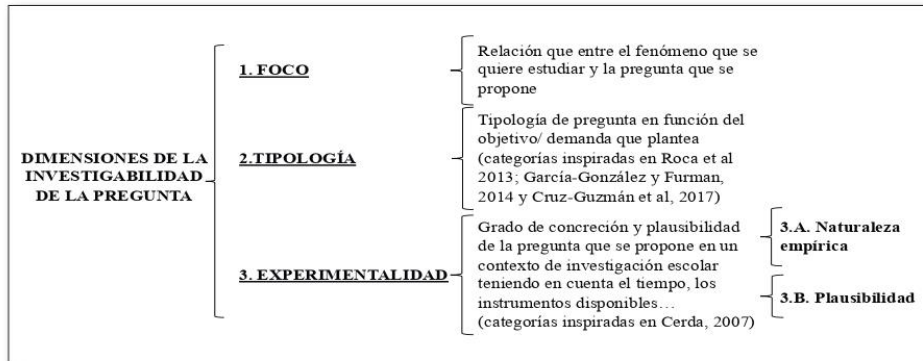


Fig 1. Red sistémica de dimensiones de investigabilidad de la pregunta.

En un segundo ciclo de codificación, se han identificado de manera deductiva e inductiva categorías y subcategorías para las dimensiones anteriores. En las dimensiones 1 y 3 se han elaborado categorías esencialmente emergentes. En cambio, en el caso de la dimensión 2 (tipología de la pregunta) las categorías se han inspirado en propuestas anteriores (Roca Tort et al., 2013; Cruz-Guzmán et al., 2017; García González y Furman, 2014; Rojas y Joglar, 2017), adaptándolas a las necesidades del contexto de indagación empírica genuina. Así, en algunos casos se han adoptado categorías directamente de estas investigaciones (por ejemplo, 2.2. Explicación causal de Roca Tort et al., 2013), y en otros se han reformulado el nombre y la definición de algunas de las categorías propuestas (por ejemplo, las preguntas 2.8. Experimentación están inspiradas en las preguntas de relaciones de Cruz-Guzmán et al., 2017).

Estas categorías se han ordenado de menor a mayor en función del grado de proximidad a las características que la literatura asocia a las preguntas investigables. En las dimensiones 1 y 3, este orden se deriva de la propia definición (por ejemplo, las preguntas con foco 1.3. Total son más investigables que las de foco 1.1. Tangencial).

Para el caso de las tipologías de pregunta (dimensión 2), en los que la ordenación no es evidente, nos hemos inspirado en Hofstein et al. (2005), que dividen las preguntas en bajo y alto orden atendiendo al contexto didáctico en el que se realizan. En el contexto de indagación empírica genuina planteado, se ha establecido un continuo que va desde las preguntas consideradas de alta investigabilidad (aquellas que para ser respondidas se debe realizar una indagación empírica), como las preguntas 2.8. Experimentación (preguntas donde se indagan datos específicos en diferentes situaciones y/o condiciones para poder sacar conclusiones) o 2.7. Descripción (preguntas donde se observa y/o mide un dato en una situación o condición para poder describir), hasta las preguntas de baja investigabilidad (aquellas cuya respuesta es un hecho y/o explicación que a menudo se encuentra literalmente en fuentes como libros de texto o internet), como 2.3. Generalización (preguntas que piden información o datos sobre un hecho general para conocerlo mejor). Esta clasificación sigue un orden similar a la planteada

por Cruz-Guzmán et al. (2017). No obstante, a diferencia de la propuesta anterior, las preguntas de descripción derivadas de una observación, diferenciación y/o comparación de variables para su descripción (preguntas 2.7. Descripción en este artículo) han sido consideradas de alto orden. Esta decisión se fundamenta en el hecho de que las preguntas descriptivas que dan pie a investigaciones sencillas para la construcción de modelos descriptivos tienen un papel relevante en las aulas indagadoras de primaria (Jiménez-Liso et al., 2020).

El sistema final de dimensiones y categorías se recoge en la siguiente red sistémica (tabla 1).

Tabla 1.

Tabla de dimensiones y categorías para el análisis de las preguntas investigables. En cursiva y con código las preguntas del alumnado; y sin cursiva, fondo gris claro y sin código las preguntas adhoc ejemplares construidas para facilitar la comprensión de la categoría. Con el fondo azul señalamos las categorías deseables para las preguntas investigables en el aula de primaria. Los códigos de los ejemplos hacen referencia al momento de recogida (M1, M2 y M3), la escuela (E1 y E2) y el grupo de alumnado (GX)

DIMENSIÓN		CATEGORIAS	EJEMPLOS
INVESTIGABILIDAD DE LAS PREGUNTAS	1. FOCO	1.1 Tangencial: La pregunta diseñada no se relacionan con el fenómeno que se quiere trabajar.	"¿Cuánto CO2 absorbe un árbol en un día?" (M1_E2_G7)
		1.2 Superficial: La pregunta diseñada se relacionan con algún aspecto anecdótico del fenómeno que se quiere trabajar	"¿Estamos contaminados?" (M1_E2_G5)
		1.3 Total: La pregunta diseñada se relaciona con aspectos concretos del fenómeno que se quiere trabajar.	"¿Dónde hay más contaminación en la clase o en el huerto" (M3_E2_G5)
	2. TIPOLOGÍA	2.1 Generalización: Son preguntas que piden información o datos específicos sobre una entidad, fenómeno o proceso en general para poder conocerlo mejor a través de la búsqueda de información o datos de otros. Son preguntas del tipo: ¿Qué hay en...?, ¿De dónde sale...?, ¿Cómo se trata...?	"De qué está formada la contaminación?" (M1_E2_G7) "De qué está formada la contaminación?" (M1_E2_G7) "¿Cuánto CO2 absorbe un árbol en un día?" (M1_E2_G7)
		2.2 Explicación causal: Son preguntas que piden las características, diferencias, procesos cambios... sobre una entidad, fenómeno o proceso para conocer su causa o motivo. Son preguntas del tipo: ¿Por qué...?, ¿Cuál es la causa de...?, ¿Cómo se explica que...?	"Por qué es malo el CO2 para los humanos?" (M1_E2_G6) "En la clase de informática hay el mismo nivel de contaminación? ¿Por qué?" (M1_E2_G1)
		2.3 Opinión/ valoración: Son preguntas que piden opiniones y/o valoraciones personales sobre una entidad, fenómeno o proceso para conocer sus ideas, sensaciones, percepciones... Son preguntas del tipo: ¿Qué piensas/ opinas de...?, ¿Qué es para ti más...?, ¿Qué harías si...?	¿Crees que en nuestra ciudad hay mucha o poca contaminación? ¿Qué es para ti más importante disminuir la contaminación del aire o del agua
		2.4 Acción: Son preguntas que piden qué se puede hacer para propiciar un cambio, resolver o evitar una entidad, fenómeno o proceso problemático o no deseable. Son preguntas del tipo: ¿Qué se puede hacer...?, ¿Cómo se puede...?	"Como podemos ayudar a reducir la contaminación de la escuela?" (M1_E2_G4) "¿Cuántos elementos de la escuela pueden ayudar a reducir la contaminación?" (M1_E1_G4)
		2.5 Comprobación: Son preguntas que piden cómo se sabe o cómo se ha llegado a conocer una entidad, fenómeno o proceso. Son preguntas del tipo: ¿A través de qué método?, ¿Qué evidencias hay?, ¿De qué manera podríamos saber...?	¿Cómo se puede conocer la contaminación que hay un sitio? ¿Qué evidencias tenemos que este sitio está contaminado?

SECCIÓ 5. ESTUDI 3. Anàlisi de la confiabilitat de la SEA/DI en termes del desenvolupament de l'habilitat de dissenyar preguntes investigables

El disseny de preguntes investigables en el ciclo superior de primaria

DIMENSIÓN	CATEGORIAS	EJEMPLOS		
INVESTIGABILIDAD DE LAS PREGUNTAS	2. TIPOLOGIA	2.6 Predicción: Son preguntas que piden datos sobre una entidad, fenómeno o proceso futuro para que se conjeture sobre su posible comportamiento. Son preguntas del tipo: ¿Qué puede pasar si...?, ¿Podría ser...?, ¿Qué consecuencias podría tener...?	¿Qué pasaría si en vez de capturar las partículas de contaminación con un filtro y vaselina lo hiciéramos con un filtro y otro material pegajoso como la miel? ¿Podría ser que si lloviera hubiéramos obtenido resultados del número de partículas contaminantes diferentes?	
		2.7 Descripción: Son preguntas que piden datos específicos sobre una entidad, fenómeno o proceso en un momento, localización y/o condiciones concretas para poder conocerlo mejor a través de la observación y/o medición propia o de otros. Son preguntas del tipo: ¿De dónde sale...?, ¿Cuanta...?	“¿Qué contaminación del aire tiene nuestra escuela?” (M1_E1_G1) “¿Qué grado de contaminación hay en la escuela?” (M1_E1_G3)	
		2.8 Experimentación: Son preguntas que piden datos específicos sobre una entidad, fenómeno o proceso en diversos momentos, localizaciones y/o condiciones concretas para poder sacar conclusiones a través su investigación y/o testeo empírico. Son preguntas del tipo ¿Cuál de los dos...?, ¿Es igual ... que...?, ¿Como influye... en...?, ¿Durante cuánto tiempo...?	“¿Qué aire es mejor el de una clase con las ventanas cerradas o el del buero?” (M1_E2_G3) “¿Cuanta contaminación hay en una semana en un aula?” (M1_E2_G1)	
	3. EXPERIMENTALIDAD	3.A Naturaleza empírica	3.A.1 Sin variables: La pregunta planteada no incluye variables	“¿Que hay en nuestro aire? (M1_E2_G7)
			3.A.2 Con variable dependiente: La pregunta planteada hace referencia a la variable dependiente –VD- (aquello que se quiere medir) pero no a la variable independiente (VI) y/o de control (VC)	“¿Cuánta contaminación hay en la escuela?” (M2_E1_G5)
			3.A.3 Con variable dependiente e independiente: La pregunta planteada hace referencia a la variable dependiente –VD- (aquello que se quiere medir) y a la variable independiente –VI- (aquello que se quiere a cambiar) pero no a las variables de control (VC)	“¿Qué sitio está más contaminado: el polideportivo, la sala de maestros, el patio de las gradas o el pasillo de infantil?” (M3_E2_G2)
			3.A.4 Con variable dependiente, independiente y de control: La pregunta planteada hace referencia a la variable dependiente –VD- (aquello que se quiere medir), a la variable independiente –VI- (aquello que se quiere a cambiar) e incluye variables de control –VC- (aquello que se debe mantener igual)	“¿Qué grado de contaminación hay en la puerta principal y en la puerta de detrás en 24h y a u metro y medio de distancia del suelo?” (M3_E1_G6)
	3.B Plausibilidad	3.B.1 No plausible: La pregunta planteada no se puede llevar a cabo en el contexto en el que se plantea. Es decir, o bien no se pueden obtener datos con los instrumentos disponibles y/o las estrategias de recogida y análisis no son suficientemente concretas o/ni se ajustan a las condiciones en las que se llevará a cabo.	“¿Qué contaminación hay en el aire del colegio y el aire de Barcelona?” (M1_E1_G5)	
		3.B.2 Plausible: La pregunta planteada se puede llevar a cabo en el contexto en el que se plantea. Es decir, se pueden obtener datos con los instrumentos disponibles y las estrategias de recogida y análisis son suficientemente concretas y se ajustan a las condiciones en las que se llevará a cabo.	“¿Qué aire es mejor, el de una clase con las ventanas cerradas o el del buero?” (M2_E1_G3)	



Para el diseño de la progresión de aprendizaje empírica (O2), se ha realizado un análisis de las relaciones de coocurrencia entre las dimensiones de investigabilidad de las preguntas del alumnado. El resultado de estas matrices de coocurrencia ha permitido identificar qué características de investigabilidad coinciden frecuentemente en las preguntas del alumnado (por ejemplo, 3.A.3 con variable dependiente e independiente y 2.8. Experimentación).

Las relaciones de coocurrencia encontradas se han ordenado de menor a mayor grado de sofisticación siguiendo la lógica usada para ordenar las categorías y teniendo en cuenta el contexto en el que se dan. A las coocurrencias entre categorías de bajo orden y, por tanto, relacionadas con características de preguntas con poca investigabilidad (por ejemplo, preguntas con foco tangencial -1.1- y con variable dependiente -3.A.2-) se les ha asignado un nivel más bajo (N2) que a aquellas coocurrencias entre categorías de alto orden y, por tanto, con características cercanas a las de las preguntas investigables ejemplares (por ejemplo, N5 es resultado de la coocurrencia de preguntas con foco Total -1.3-; de Experimentación -2.8-; con variable dependiente e independiente -3.A.4-; y Plausibles -3.B.2-).

Para garantizar la validez interpersonal y temporal del análisis se ha repetido el proceso de codificación un mes más tarde sin encontrar diferencias significativas.

## RESULTADOS

### Resultados respecto a la investigabilidad de las preguntas

A continuación, se muestran el porcentaje de preguntas propuestas por el alumnado para cada una de las categorías y las dimensiones de investigabilidad y su evolución a lo largo del tiempo (figuras 3, 4, 5 y 6). Los resultados del alumnado se muestran conjuntamente, ya que no se han observado diferencias significativas ni entre los diferentes cursos ni respecto a la tipología de centros y docentes. Concretamente, en el eje Y de los gráficos se encuentran los momentos clave en que se han recogido los datos y en el eje X se grafican las diferentes categorías para cada dimensión de la investigabilidad de las preguntas. Los colores más oscuros y la posición en la parte superior representan una mayor cercanía a las características de las preguntas investigables ejemplares.

### Foco de la pregunta

Los resultados obtenidos en la dimensión 1 «foco de la pregunta» nos han permitido observar una rápida evolución de la calidad de las preguntas diseñadas por el alumnado entre M1 y M2 que se mantiene en M3 (figura 2).

El disseny de preguntes investigables en el ciclo superior de primaria

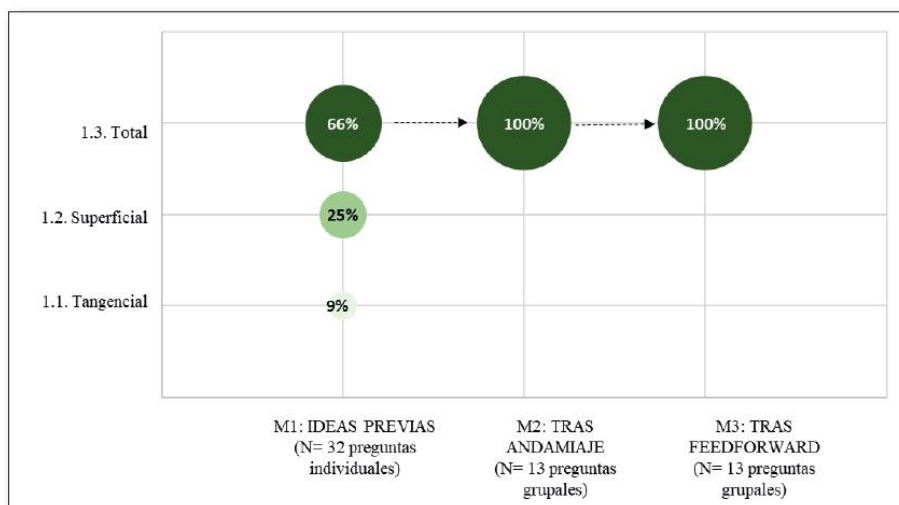


Fig 2. Evolución del foco de la pregunta (eje Y) en las preguntas diseñadas por el alumnado a lo largo de tres momentos de la SEA (eje X). Las flechas discontinuas marcan la tendencia general.

En M1, una parte importante de las preguntas diseñadas por el alumnado (34 %) únicamente se relaciona con el problema guía de manera tangencial (1.1 Tangencial 9 %) o de manera muy general sin hacer referencia al caso concreto planteado (1.2 Superficial: 25 %). Por ejemplo:

- «¿Cuánto CO<sub>2</sub> sacamos por la boca con la respiración?» (M1\_1.1 Tangencial \_E2\_G6)
- «¿De qué está formada la contaminación?» (M1\_1.2 Superficial\_E2\_G7)

Sin embargo, desde M1 el 66 % de las preguntas hacen referencia explícita a aspectos de la calidad del aire en su escuela. Este porcentaje se eleva hasta el 100 % en el M2 tras el trabajo en grupo y el uso de la plantilla PaPER, y se mantiene con este porcentaje en M3.

- «¿Qué clase de primaria es la más contaminada?» (M2\_1.3 Total\_E2\_G4)

Los resultados positivos obtenidos desde M1 nos hacen pensar que la relación con el problema guía no es un aspecto que suponga una gran dificultad para el alumnado. Estos resultados son coherentes con los de Roca Tort (2007), donde, en la mayoría de los contextos observados, el alumnado incluye en sus preguntas aspectos del modelo de referencia que se quería trabajar. A diferencia del estudio anterior, el porcentaje de preguntas que en M1 hacen referencia a la temática es mucho más elevado. La comparación entre las dos situaciones educativas nos ha hecho identificar dos aspectos que pueden haber influido en este resultado. Por un lado, que se ha explicitado desde M1 la pregunta guía (*¿cómo es la calidad del aire de la escuela?*), acotando el fenómeno (contaminación) y el espacio de actuación (escuela). Y, por otro lado, que uno de los criterios explícitos de PaPER para la autoevaluación es que la pregunta debe aportar al problema guía (por ejemplo, *¿La pregunta responde a la problemática inicial sobre cómo es la calidad del aire de la escuela?*).

### Tipología de pregunta

Los resultados sobre la tipología de preguntas diseñadas nos han permitido observar que el alumnado no hace referencia en ningún momento de la SEA a ciertas tipologías: preguntas de opinión/valoración, de predicción y de comprobación (figura 4). La ausencia de preguntas de opinión/valoración se puede deber a que el tipo de demanda/ pregunta guía planteada orienta hacia el diseño de preguntas que requieren comprobación empírica. En el caso de las preguntas de predicción y comprobación, en cambio, su ausencia se puede deber a la naturaleza del fenómeno estudiado, en el que las variables no se pueden manipular deliberadamente pero sí identificar condiciones diferentes para su exploración (Ioannidou y Erduran, 2021).

En relación con las tipologías que sí aparecen (preguntas de generalización, explicación causal, acción, descripción, y experimentación), se observa una evolución progresiva que va desde la diversidad de tipologías en M1, incluyendo las preguntas de bajo potencial de investigabilidad (por ejemplo, de generalización o explicación causal), hasta tipologías de preguntas con cada vez más potencial de investigabilidad (por ejemplo, preguntas de descripción y experimentación) (figura 3).

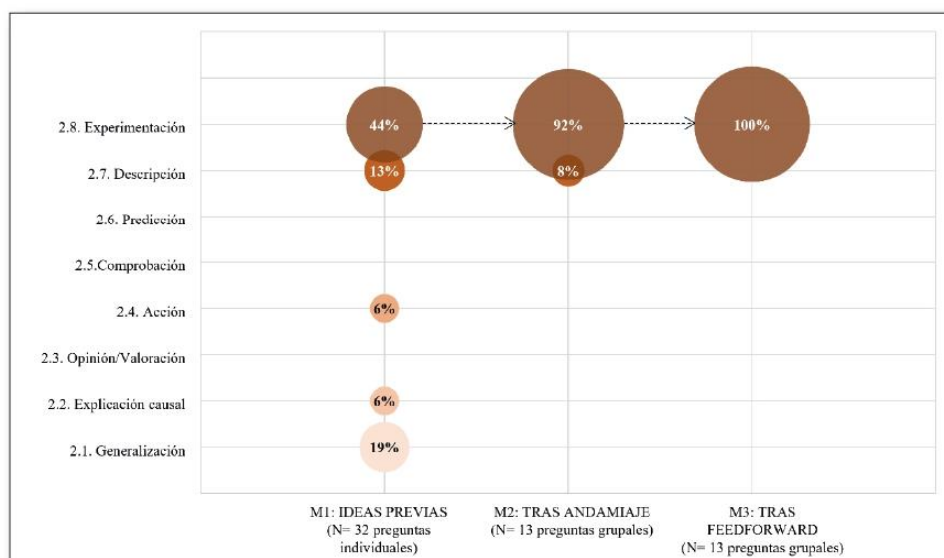


Fig. 3. Evolución de la tipología de preguntas diseñadas por el alumnado (eje Y) a lo largo de tres momentos de la SEA (eje X). Las flechas discontinuas marcan la tendencia general.

Así, en M1 encontramos sobre todo preguntas de experimentación (44 %) y en menor medida preguntas de generalización (19 %), descripción (13 %), explicación causal (6 %) y acción (6 %).

«¿Qué diferencia hay entre un sitio contaminado y uno que no?» (M1\_2.1 Generalización G2\_G5)

«¿Por qué es malo el CO<sub>2</sub> para los humanos?» (M1\_2.2 Explicación causal\_E2\_G6)

«¿Cómo podemos ayudar a reducir la contaminación de la escuela?» (M1\_2.4 Acción\_E2\_G4)

«¿Qué grado de contaminación hay en el patio?» (M1\_2.7 Descripción\_E2\_G7)



### El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria

A medida que avanza la SEA (en M2 y M3) aumentan las preguntas de experimentación que invitan a la recogida de datos para sacar conclusiones.

«¿Dónde hay más contaminación en el patio del olivo, en el comedor o en la clase de música?» (M2\_2.8 Experimentación \_E2\_G5)

«¿Qué aire es mejor, el de una clase con las ventanas cerradas o el del huerto?» (M2\_2.8 Experimentación \_E1\_G3)

Es importante destacar la presencia en M1 (13 %) y M2 (8 %) de preguntas de descripción cuyo objetivo es obtener información de hechos o datos concretos. Estas preguntas, aunque de naturaleza investigable, promueven investigaciones muy limitadas que se podrían responder observando un solo aspecto o realizando una única medición.

«¿Cuánto CO<sub>2</sub> sacamos por la boca con la respiración?» (M1\_2.7 Descripción \_E2\_G7)

«¿Cuánta contaminación hay en la calle Sant Jaume?» (M1\_2.7 Descripción \_E2\_G6)

Estos resultados son concordantes con investigaciones anteriores (García González y Furman, 2014; Lombard y Schneider, 2013; Rojas y Joglar, 2017) que apuntan que el alumnado al que se le demanda diseñar preguntas investigables plantea inicialmente preguntas de tipo descriptivo, que de hecho tienen un papel importante en la construcción de modelos descriptivos (Jiménez-Liso et al., 2021). Como subrayan investigaciones con alumnado más mayor, con una instrucción planificada y los apoyos necesarios el alumnado es capaz de, progresivamente, formular preguntas cada vez más investigables.

Contrariamente a estas investigaciones, en nuestro contexto desde M1, el porcentaje de preguntas de experimentación diseñadas por el alumnado es elevado (44 %). Una posible explicación de la diferencia tiene que ver con la relación directa que García González y Furman (2014) establecen entre preguntas de experimentación e investigables. Tal como discutimos más adelante, pese a que la mayoría de las preguntas de experimentación tienen potencial para ser preguntas investigables, no todas ellas lo son. De hecho, a muchas (especialmente en M1 y M2) les siguen faltando elementos clave (por ejemplo, referencia a variables concretas) para poder ser consideradas buenas preguntas investigables.

«¿Qué clase de primaria es la más contaminada?» (M1\_2.8 Experimentación poco concreto \_E2\_G4)

«¿Qué sitio de la escuela está más contaminado?» (M1\_2. Experimentación poco concreto \_E2\_G4)

### Grado de experimentalidad de la pregunta

El análisis del grado de experimentalidad de las preguntas se ha hecho atendiendo a dos aspectos: la presencia de variables (relacionada con la presencia explícita de las variables relevantes, generalmente dependiente –VD–, independiente –VI– y de control –VC–) (figura 4) y la plausibilidad (relacionada con la posibilidad de obtener datos y responder a la pregunta en el contexto en el que se plantea y con los instrumentos disponibles) (figura 5).

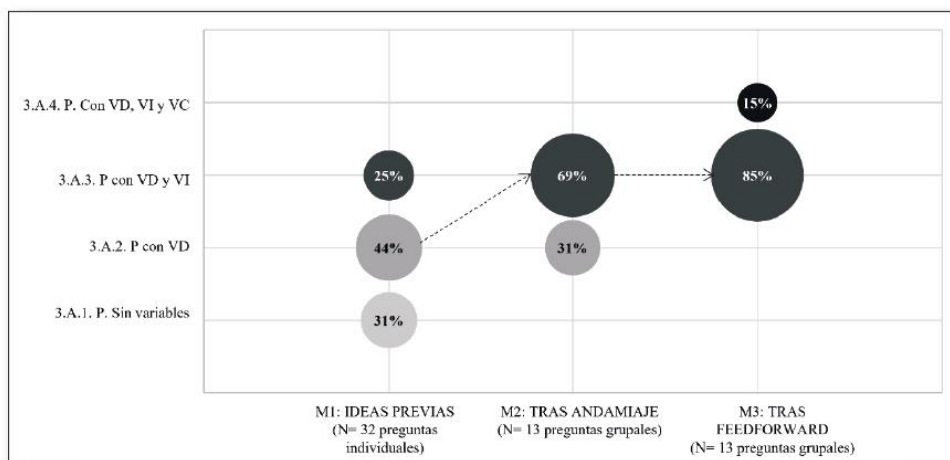


Fig. 4. Evolución de la presencia de variables en las preguntas diseñadas por el alumnado (eje X) a lo largo de tres momentos de la SEA (eje Y). Las flechas discontinuas marcan la tendencia general.

Se ha observado que la presencia de variables (figura 4) es la categoría donde el alumnado presenta mayores dificultades a lo largo de toda la SEA. En M1, una parte importante del alumnado o bien no incluye ninguna variable en su pregunta (3.A.1 Sin variables 31 %), o bien únicamente hace referencia a la variable dependiente, generalmente de una manera poco concreta (3.A.2 con VD 44 %). Por ejemplo:

- «¿De qué está formada la contaminación?» (M1\_3.A.1 Sin variables\_E2\_G7)
- «¿Qué grado de contaminación [en forma de PM] hay en la escuela?» (M1\_3.A.2 con VD\_E1\_G3)

Tras el trabajo en grupo usando la plantilla PaPER (M2) desaparecen las preguntas 3.A.1 sin variables y disminuyen hasta un 31 % las preguntas 3.A.2 con VD, mientras que aumentan hasta más de la mitad aquellas que incluyen la variable dependiente e independiente (3.A.3 con VD y VI 69 %). Esta tendencia se ha consolidado tras el *feedforward* docente (M3), cuando todas las preguntas incluyen ambas variables.

- «¿Qué sitio está más contaminado [por PM]: el polideportivo, la sala de maestros, el patio de las gradas o el pasillo de infantil?» (M1\_3.A.3 con VD y VI\_E1\_G6)

Cabe destacar que no es hasta M3, con el intercambio directo con la docente, que una parte de las preguntas (15 %) incluyen explícitamente alguna variable de control relevante para la experimentación (3.A.4 con VD, VI y VC).

- «¿Cuánta contaminación [en forma de PM] hay en el aula de informática y fuera en la secretaría comparándolo con un disco sin usar en 3 días?» (M3\_3.A.4 con VD, VI y VC\_E1\_G6)

Las dificultades observadas en relación con la variable independiente y, especialmente, con las variables de control han sido subrayadas por numerosas investigaciones previas en niveles educativos superiores que además apuntan que la evolución de las preguntas en este sentido es más paulatina que con respecto a las otras variables, sugiriendo que la inclusión de variables de control hace referencia a preguntas con niveles de investigabilidad más elevados (Ferrés Gurt, 2017; Grunwald y Hartman, 2010).

El disseny de preguntes investigables en el ciclo superior de primaria

En relación con la plausibilidad (figura 5), los resultados obtenidos en M1 muestran que únicamente el 13 % de las preguntas son suficientemente concretas y usan instrumentos y estrategias adecuados para el contexto escolar en el que se llevarán a cabo.

«¿Qué contamina más, las [clases] de la ESO o las [clases] de primaria?» (M1\_3.B.1 No plausible\_E2\_G1)

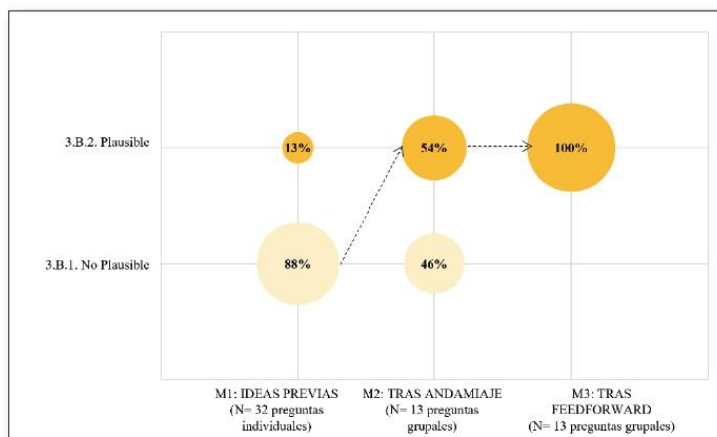


Fig.5. Evolución de la plausibilidad de las preguntas diseñadas por el alumnado (eje X) a lo largo de tres momentos de la SEA (eje Y). Las flechas discontinuas marcan la tendencia general.

En M2 el porcentaje de preguntas que presentan esta dificultad disminuye hasta el 46 % y desaparece en M3.

«Dónde hay más contaminación [de PM] en la calle Topete [con mucho tráfico] o Sant Jaume [con menos tráfico]? (M3\_3.B.2 Plausible\_E2\_G6)

Esta dificultad para diseñar preguntas plausibles está en línea con otras investigaciones realizadas (Ferrés Gurt, 2017; Lombard y Schneider, 2013). La rápida evolución de las preguntas en esta categoría nos hace pensar que es una dificultad fácil de superar cuando el fenómeno estudiado permite una recogida de datos con instrumentos y metodologías sencillos y que están al alcance del alumnado. Sería interesante analizar esta evolución en casos en los que para la investigación se utilizan instrumentos o estrategias de recogida de datos de mayor complejidad.

Diseño de la progresión de aprendizaje empírica

A continuación, se presentan los resultados relativos a los niveles de sofisticación de las preguntas obtenidos tras el análisis de la coocurrencia entre las dimensiones de investigabilidad anteriores. Para su representación se ha utilizado un «paisaje o mapa de destrezas» análogo con respecto a la forma/estructura a los paisajes conceptuales (*conceptual landscapes*) propuestos por Zabel y Gropengiesser (2011) y Vergara et al. (2020), para el contenido conceptual de selección natural y transferencia de energía.

Como en estas propuestas, en el mapa de destrezas (figura 6) se ha delimitado un área coloreada para cada uno de los niveles de sofisticación identificados (N0-N5), ordenados de izquierda a derecha



y de abajo arriba en función del nivel de sofisticación, siendo el área coloreada con un azul claro abajo a la izquierda la de nivel más sencillo (N0) y el área azul oscuro arriba y a la derecha el nivel más sofisticado (N5). Dentro de cada una de las áreas se incluyen ejemplos de preguntas diseñadas por el alumnado en ese nivel. Además, en las fronteras que delimitan cada nivel (líneas continuas en la figura 6) se concretan las limitaciones que se superan al pasar de nivel, es decir, qué aspectos incluyen las preguntas del nivel superior que no incluían las del anterior. Por último, los tres círculos en cada una de las áreas dan información sobre el porcentaje de preguntas del alumnado que se encuentran en cada nivel de sofisticación para cada uno de los momentos de recogida de datos: verde para M1, azul para M2 y amarillo para M3.

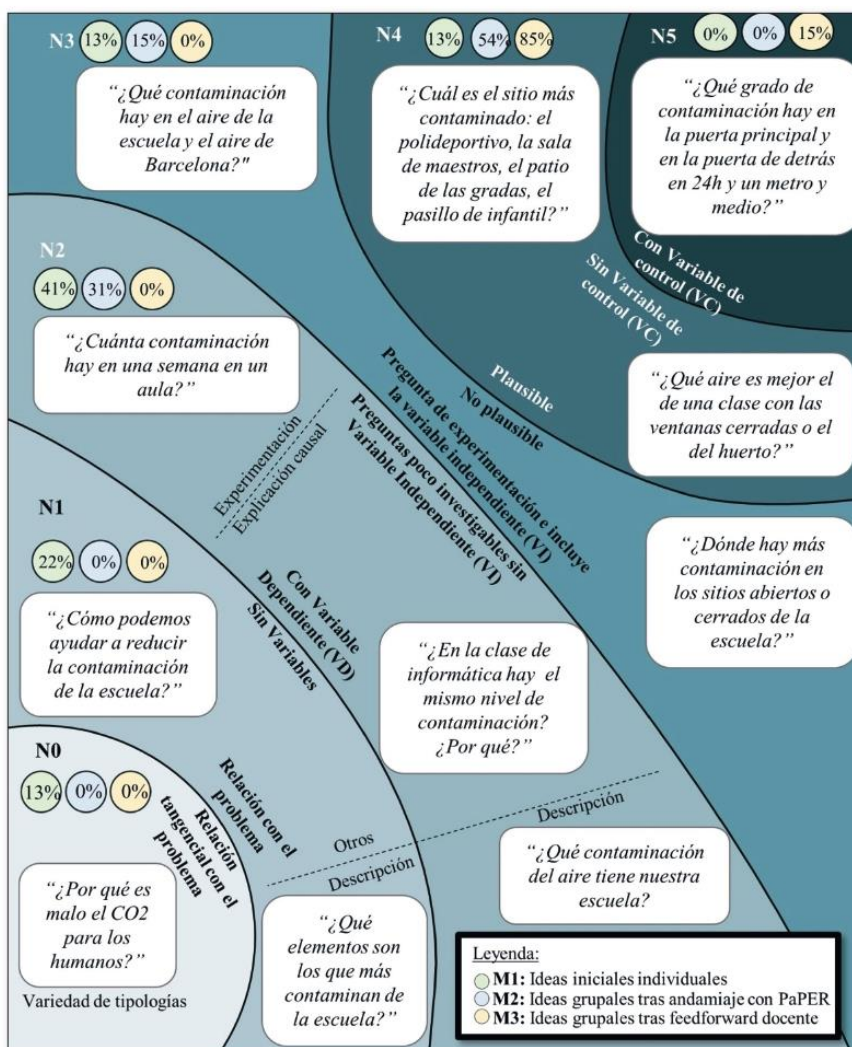


Fig. 6. Mapa de destrezas con los cinco niveles de sofisticación de las preguntas investigables diseñadas por el alumnado de primaria.

El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria

Los resultados obtenidos de este análisis y su organización en el mapa de progresión de destrezas nos han permitido delimitar un N0 de preguntas relacionadas de manera tangencial con el problema guía, y que no hacen referencia explícita a ninguna variable por medir. En el siguiente nivel (N1) se encuentran preguntas que se relacionan superficialmente con la problemática guía y que siguen sin hacer referencia explícita a ninguna variable. En N2 las preguntas se relacionan totalmente con el problema guía e incluyen explícitamente la variable dependiente (VD), pero siguen sin hacer referencia al resto de las variables. Las preguntas en N3 se relacionan totalmente con el tema e incluyen explícitamente las variables: dependiente (VD) e independiente (VI). Además, todas las preguntas en este nivel son de experimentación. En N4 las preguntas reúnen las características de las preguntas en N3 y además son suficientemente concretas para poderse responder con los instrumentos y en el contexto escolar en el que se proponen. Las preguntas planteadas en el último nivel (N5) cumplen todas las características propias de una pregunta investigable ejemplar para el nivel de primaria: son preguntas de experimentación, se relacionan directamente con el fenómeno planteado, hacen referencia a variables relevantes (en este caso dependiente, independiente y también de control: VC) y son suficientemente concretas y adecuadas para llevarse a cabo con los instrumentos y en el contexto en el que se plantean.

El análisis de los niveles de sofisticación en los tres momentos nos ha permitido observar una evolución del grado de sofisticación de las preguntas respecto a su investigabilidad a lo largo de la SEA (figura 7).

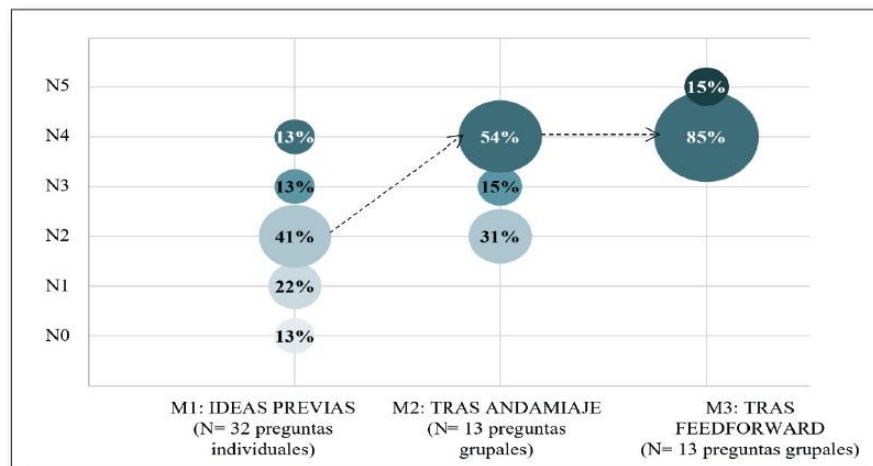


Fig. 7. Evolución del porcentaje de preguntas diseñadas por el alumnado en cada uno de los niveles de sofisticación (eje y) y en cada uno de los momentos de la SEA (eje X). Las flechas discontinuas marcan la tendencia general.

Los resultados en este sentido nos permiten afirmar que el trabajo en grupo y las estrategias docentes utilizadas: un andamiaje con una herramienta específica (entre M1 y M2) y el *feedforward* docente (entre M2 y M3) son estrategias que permiten a buena parte del alumnado de primaria mejorar progresivamente la sofisticación del diseño de sus preguntas investigables hasta llegar a un nivel de sofisticación elevado (N4).

El análisis refuerza la literatura que identifica las variables de control como la que más dificultades presenta al alumnado (Kuhn y Dean, 2005). Además, los resultados son coherentes con investigaciones que destacan la importancia de los docentes en el proceso de construcción y consolidación de las



habilidades y destrezas de investigación de orden superior (Couso, 2014; Furtak et al., 2012; Romero-Ariza, 2017).

Pese a la mejora observada entre M1 y M3, la mayoría de las preguntas finales diseñadas no llegan al nivel más alto (N5), y en aquellos casos en que sí que lo hacen, las preguntas presentan imprecisiones y/u omiten aspectos importantes que solo se pueden saber si se conoce el contexto en el que se va a llevar a cabo el experimento (por ejemplo, qué tipo de contaminación concreta se quiere medir, qué características diferenciales hacen importante medir la contaminación en los dos sitios planteados).

«¿Qué grado de contaminación [de PM] hay en la puerta principal [con poco tráfico] y en la puerta de detrás [con mucho tráfico] en 24 h y [colocando el papel con vaselina que captura las PM] a un metro y medio de distancia del suelo?» (M3\_N5\_E1\_G6)

Por todo ello, creemos que el diseño preguntas investigables es una destreza en la que se debe seguir profundizando a lo largo de la escolaridad.

## CONCLUSIONES

En este trabajo hemos analizado el grado de investigabilidad de las preguntas diseñadas por el alumnado de ciclo superior de primaria en tres momentos de una SEA. Conocer la calidad de las preguntas en términos de su investigabilidad nos ha permitido evaluar la competencia del alumnado en la práctica científica clave de diseño de preguntas investigables (NRC, 2012).

La primera aportación del presente estudio es el diseño de un instrumento de análisis que permite caracterizar la investigabilidad de las preguntas del alumnado en contextos experimentales semiabiertos. Este instrumento está formado por tres dimensiones clave: 1) la relación de la pregunta con el problema guía que se quiere investigar, 2) la tipología de la pregunta y 3) la experimentalidad de la pregunta. Dichas dimensiones parten de la redefinición de propuestas anteriores (García González y Furman, 2014; Roca Tort et al., 2013; Cruz-Guzmán et al., 2017) y enfatizan aspectos clave para el diseño de preguntas investigables en el contexto de experimentos científicos escolares no suficientemente resaltados en la literatura, como la identificación explícita de variables (Chen et al., 2015; Hofstein et al., 2005) y la plausibilidad de la pregunta (Cerdeira, 2007).

La aplicación de las dimensiones al análisis de las preguntas del alumnado nos ha permitido caracterizar las preguntas del alumnado e identificar su evolución a lo largo de tres momentos de la SEA. El análisis permite observar que mientras la relación con el problema guía o la inclusión de la variable dependiente son aspectos que buena parte del alumnado incluye ya en su diseño de pregunta inicial, otros aspectos clave en el diseño de preguntas investigables como la formulación de preguntas de experimentación o de las variables por medir (en nuestro caso variables dependiente e independiente) no se incorporan de manera mayoritaria hasta que el alumnado trabaja en grupo y recibe un andamiaje específico para ello. Además, se ha remarcado que ciertos aspectos clave para la calidad en términos de fiabilidad de las investigaciones, como, por ejemplo, la incorporación de estrategias o variables de control, únicamente se dan tras una interacción con la docente de tipo activador que oriente el avance del alumnado, por ejemplo, preguntando: *¿qué otras características de los sitios donde queréis medir la contaminación creéis que pueden afectar al resultado?, ¿qué podemos hacer para que no afecten o afecten siempre lo mismo?*

Los resultados obtenidos en esta investigación nos llevan a pensar que el alumnado de 10-12 años es capaz de diseñar preguntas investigables sofisticadas. Sin embargo, el desarrollo de esta destreza supone un reto para ellos, como apuntan las investigaciones sobre este tema hechas con alumnado de etapas educativas superiores (Ferrés-Gurt, 2017; Lombard y Schneider, 2013; Sanmartí y Márquez, 2012).

### El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria

La evolución observada en todas las dimensiones a lo largo de la SEA apoyan el valor de la auto y correvisión/regulación por parte del propio alumnado y del alumnado con sus iguales (Chin y Osborne, 2008, 2010) y refuerzan la importancia de andamiajes bien diseñados y probados para la mejora de la autonomía en el desarrollo de las propias destrezas (Chen et al., 2015; Puntambekar y Kolodner, 2005). Además, que la incorporación de las variables por medir y el planteamiento de preguntas de experimentación se afiancen tras el *feedforward* docente y que solo tras esta intervención una pequeña parte del alumnado incluya aspectos relacionados con el control de variables refuerzan la importancia del docente activador del que tanto se habla en la literatura (Chin y Osborne, 2008; Couso, 2014; Furtak et al., 2012; Lombard y Schneider, 2013; Romero-Ariza, 2017). Este diálogo y retroalimentación se muestra especialmente importante para la incorporación y/o consolidación de aquellos aspectos que suponen un mayor reto para el alumnado. Estos resultados son coherentes con los de investigaciones previas en las que se manifiesta que el diseño de preguntas investigables y su mejora no es un proceso que se dé espontáneamente en el alumnado con su madurez o al saber más sobre un tema, sino que debe plantearse en el aula como un proceso iterativo en el que las preguntas se vayan complejizando y adecuando al contexto (García González y Furman, 2014; Lombard y Schneider, 2013; Sanmartí y Márquez, 2012). Los resultados nos hacen pensar en la necesidad de profundizar en la caracterización y el análisis de las estrategias de andamiaje y del *feedforward* docente y su relación con la mejora de las preguntas del alumnado en futuras investigaciones.

El análisis de la coocurrencia entre las dimensiones de investigabilidad de las preguntas y su gradación en cinco niveles de sofisticación han permitido trazar una propuesta de progresión de aprendizaje empírica para el alumnado de últimos cursos de primaria centrada en la destreza de diseñar preguntas investigables. En ella se han podido identificar tanto el punto de partida del alumnado como un conjunto de hitos o destrezas intermedias que pueden actuar como «trampolines» para el desarrollo progresivo de esta destreza (Corcoran et al., 2009).

Estamos de acuerdo con Schwarz et al. (2009) y Scott et al. (2019) cuando afirman que conocer las ideas y destrezas del alumnado y su progresión como se ha hecho en este trabajo es esencial para poder ayudar al alumnado a superar sus limitaciones y dificultades. Por ello, consideramos que sería interesante, en futuras investigaciones, comparar los resultados obtenidos en esta investigación con los de investigaciones para niveles superiores similares (Ferrés-Gurt, 2017). Además, somos conscientes de que el estudio presentado se centra en un contexto determinado y de que el número de participantes es limitado. Por ello planteamos en un futuro ampliar el número de alumnos/as participantes y variar los contextos en los que se lleva a cabo un proceso de diseño de preguntas investigables.

### AGRADECIMIENTOS

La investigación se ha llevado a cabo en el marco del doctorado en Educación de la UAB y ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (PGC2018-096581-B-C21) dentro del grupo de investigación ACELEC (2017SGR1399) y la ayuda predoctoral FI-DGR-2018.

### REFERENCIAS

- Adúriz-Bravo, A. (2021, 8 noviembre). Multirreferencia en la indagación científica escolar [conferencia]. *I Seminario Internacional: Integrated Teaching in Specific Didactics*. Burgos, España.
- Cerda, H. (2007). *La investigación formativa en el aula, la pedagogía como investigación*. Bogotá: Magisterio.



- Chen, S., Tseng, C. y Chang, W.-H. (2015). Generatubg Testable Questions in the Science Classroom: The BDC Model. *American Biology Teacher*, 77(3), 166-169.  
<https://doi.org/10.1525/abt.2015.77.3.3>
- Chin, C. y Osborne, J. (2008). Students' questions: A potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1-39. <https://doi.org/10.1080/03057260701828101>
- Chin, C. y Osborne, J. (2010). Students' Questions and Discursive Interaction: Their Impact on Argumentation During Collaborative Group Discussions in Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 883-908.  
<https://doi.org/10.1002/tea.20385>
- Corcoran, T., Mosher, F. y Rogat, A. (2009). Learning Progressions in Science: An Evidence-based Approach to Reform. In *CPRE Research Reports*.
- Couso, D. (2014). De la moda de «aprender indagando» a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *26 EDCE*, Huelva, España. <http://uhu.es/26edce/actas/>
- Couso, D., Jiménez-Liso, R., Refojo, C. y Sacristán, J. A. (2020). *Enseñando ciencia con ciencia*. <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2018). Influencia de distintas estrategias de andamiaje para promover la participación del alumnado de secundaria en las prácticas científicas. *Enseñanza de Las Ciencias*, 36(2), 23.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2241>
- Cruz-Guzmán, M., García-Carmona, A. y Criado, A. (2017). Preguntas de Indagación y contenidos de ciencia escola en el diseño de actividades experimentales: predilecciones de los estudiantes de profesorado de infantil. *Enseñanza de las ciencias*, Extra, 3963-8. <https://ddd.uab.cat/record/185160>
- Duschl, R. A. y 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>
- Ferrés, C. (2017). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka*, 14(2), 410-426.  
[http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2017.v14.i2.09](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.09)
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H. y Briggs, D. C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300-329.  
<https://doi.org/10.3102/0034654312457206>
- García González, S. M. y Furman, M. G. (2014). Categorización de preguntas formuladas antes y después de la enseñanza por indagación. *Praxis & Saber*, 5(10), 75.  
<https://doi.org/10.19053/22160159.3023>
- Garriga, N., Pigrau, T. y Sanmartí, N. (2012). Cap a una pràctica de projectes orientats a la modelització. *Revista Ciències*, 21(21), 18.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.125>
- Gignac, F., Barrera-Gómez, J., Persavento, C., Solé, C., Tena, È., López-Vicente, M., Foraster, M., Amato, F., Alastuey, A., Querol, X., Llavador, H., Apesteguia, J., Júlvez, J., Couso, D., Sunyer, J. y Basagaña, X. (2021). Short-term effect of air pollution on attention function in adolescents' A randomized controlled trial in high schools in adolescents (ATENCIÓN): *Environment International*, 156.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106614>
- Grunwald, S. y Hartman, A. (2010). A Case-Based Approach Improves Science Students' Experimental Variable Identification Skills. *Journal of College Science Teaching*, 28-33.
- Harlen. (2004). *Teaching, learning & assessing science 5-12* (vol. 148). SAGE.

El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria

- Herranen, J. y Aksela, M. (2019). Student-question-based inquiry in science education. *Studies in Science Education*, 55(1), 1-36.  
<https://doi.org/10.1080/03057267.2019.1658059>
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M. y Mamlok-naaman, R. (2005). *Developing Students' Ability to Ask More and Better Questions Resulting from Inquiry-Type Chemistry Laboratories*, 42(7), 791-806.  
<https://doi.org/10.1002/tea.20072>
- Ioannidou, O. y Erduran, S. (2021). Beyond Hypothesis Testing. Investigating the diversity of scientific Methods in Science Teachers' understanding. *Science & Education*, 30, 345-364.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11207-020-01760-7>
- Izquierdo, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de Las Ciencias*, 23(1), 111.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3861>
- Jiménez-Liso, R. (2020). Aprender ciencia escolar implica aprender a buscar pruebas para construir conocimiento. En D. Couso et al. (Eds.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 53-62).
- Jiménez-Liso, R., Delgado, L., Castillo-Hernández, F. J. y Baños, I. (2021). Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 5.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3032>
- Joglar, C. (2014). *Elaboración de preguntas científicas escolares en clase de biología* [Tesis doctoral]. PUC.
- Joglar, C. y Rojas, S. P. (2019). Overcoming Obstacles to the Formulation and Use of Questions in the Science Classroom: Analysis from a Teacher Reflection Workshop. *Research in Science Education*, 49, 1125-1139.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11165-019-9857-5>
- Kuhn, D. y Dean, D. (2005). Is developing scientific thinking all about learning to control variables? *Psychological Science*, 16(11), 866-870.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01628.x>
- Lombard, F. E. y Schneider, D. K. (2013). Good student questions in inquiry learning. *Journal of Biological Education*, 47(3), 166-174.  
<https://doi.org/10.1080/00219266.2013.821749>
- Miles, M. B., Huberman, A. M. y Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis* (3.ª ed.). Arizona State University.
- NRC (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academies Press.
- Ogborn, J. (2012). Curriculum development in Physics: not quite so fast! *Scientia in Education*, 3(2), 3-15.  
<https://doi.org/10.14712/18047106.34>
- 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>
- Puntambekar, S. y Kolodner, J. L. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: Helping students learn science from design. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 185-217.  
<https://doi.org/10.1002/tea.20048>
- Roca Tort, M., Márquez, C. y Sanmartí, N. (2013). Las preguntas de los alumnos: una propuesta de análisis. *Enseñanza de Las Ciencias*, 31(1), 95-114.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.603>
- Rocard, M. (2007). Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe. En *Economy and Society*.

- Rojas, A. y Joglar, C. (2017). Buenas preguntas del estudiantado en clases de biología, a partir de cuestiones socio-científicas. *Enseñanza de Las Ciencias, Extra*, 4665-4670.
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka*, 14(2), 286-299.  
<https://doi.org/10.2526/1169>
- Sanmartí, N. (2020). Qué sabemos de la importancia del valor del error y de su gestión para el aprendizaje. En D. Couso et al. (Eds.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 24-38).
- Sanmartí, N. y Márquez, C. (2012). Enseñar a plantear preguntas investigables. *Alambique*, 70, 27-36.
- Schwarz, C. V. y White, B. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.  
<https://doi.org/10.1145/159420.155834>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y 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>
- Scott, E., Wenderoth, M. P. y Doherty, J. H. (2019). Learning progressions: An empirically grounded, learner-centered framework to guide biology instruction. *CBE Life Sciences Education*, 18(4), 1-11.  
<https://doi.org/10.1187/cbe.19-03-0059>
- Tamir, P. y García, M. P. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de textos de Ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de Las Ciencias*, 10(1), 3-12.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4644>
- Tena, È. (2021). ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primaria. *Àpice*, 5(2), 87-97.  
<https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7613>
- Tena, È. y Couso, D. (2020). ¿Cómo ayudar al alumnado a investigar en ciencias? *Aula de Innovación Educativa*, 298, 15-20.
- van de Pol, J., Volman, M. y Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher-student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review*, 22(3), 271-296.  
<https://doi.org/10.1007/s10648-010-9127-6>
- Vergara, C., López, V. y Couso, D. (2020). Revisiting the landscape roaming metaphor to understand students' ideas on mammals' and birds' thermal regulation. *Journal of Biological Education*, 1-14.  
<https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1748894>
- Windschitl, M., Thompson, J. y 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>
- Zabel, J. y Gropengiesser, H. (2011). *Learning progress in evolution theory: climbing a ladder or roaming a landscape?* 9266.  
<https://doi.org/10.1080/00219266.2011.586714>
- Zoller, U. y Tsaparlis, G. (1997). Higher and lower-order cognitive skills: The case of chemistry. *Resear*



---

## Designing Research Questions with 10-12-Year-Old Students

Èlia Tena, Digna Couso

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España  
elia.tena@uab.cat, digna.couso@uab.cat

<sup>000</sup>Designing research questions has been identified as one of the main scientific practices that students should develop in school, starting in early education (Chin & Osborne, 2008; NRC, 2012). However, this practice is often thought as an advanced one, only suitable for upper-secondary or university students in the context of open inquiries (Ferrés-Gurt, 2017; Lombard & Schneider, 2013).

Research on this topic showed us that to design adequate research questions is a challenge even for upper-secondary and university students interested in science (Ferrés-Gurt, 2017; Lombard & Schneider, 2013). Furthermore, this skill is not spontaneously developed: students need to follow an iterative process aided with specific scaffolding to progressively sophisticate and design more adequate research questions (Lombard & Schneider, 2013; Sanmartí & Márquez, 2012).

Our research is focused on the evolution of 10-12-year-old students' skills when designing research questions in three different moments of a teaching and learning sequence (TLS) on the topic of air pollution. Data gathering was done in three moments of the TLS, including individual questions to know the level of pollution in their school, designed without any support at the beginning of the TLS (M1) (n=32), discussing questions in an intermediate moment after using a specific scaffolding tool, PaPER, in teams (M2) (n=13) and final questions in groups after a teacher's feedforward (M3) (n=13).

A combination of a top-down bottom-up strategy (Miles et al., 2014) has been used for data analysis. Based on previous research (Cruz-Guzmán, et al., 2017; García González & Furman, 2014; Roca Tort et al., 2013; Cerda, 2007), three different dimensions have been identified to characterize students' designed research question: (1) Focus, centred in the relation between the phenomena and the designed question; (2) Type, related with the claim of the question; and (3) Experimentality, related with variables presence and plausibility of the question in a school context. Categories and subcategories have been identified and an instrument for the analysis of students' designed question has been developed.

The analysis has pointed out that from the beginning (M1) most students' designed questions focus completely on the phenomenon and include dependent variables. However, not until working in groups with a specific scaffolding tool (M2) did they design testable questions with independent and dependent variables. It also showed us that some aspects, such as the incorporation of control strategies and variables, are not part of students' questions until they received targeted feedforward from their teachers (M3).

In line with previous research (Ferrés-Gurt, 2017; Lombard & Schneider, 2013), our results highlighted, first, that 10-12-year-old students can design sophisticated research questions although it supposes a challenge for them.

Secondly, the evolution of designed questions in M1, M2 and M3 emphasizes the importance of self- and co-evaluation or regulation both by the students themselves and with their peers (Chin & Osborne, 2008, 2010) and the importance of appropriate scaffoldings (Chen et al., 2015; Puntambekar & Kolodner, 2005). According to previous research (Chin & Osborne, 2008; Couso, 2014; Furtak et al., 2012; Romero-Ariza, 2017), results showed the importance of teachers' feedforward to consolidate and incorporate some challenging aspects (e. g. control variables). More research about scaffolding and feedforward characteristics are needed in future investigations.

Finally, using a co-occurrence analysis between the identified dimensions, we have identified 5 levels of sophistication in the research questions designed by students, which we have used to define an empirical learning progression. Identification of the starting point and stepping stones for the progressive development of the skill in designing research questions in upper-primary students (Corcoran et al., 2009) could be useful for teachers to help students overcome their difficulties in this area (Schwarz et al., 2009; Scott et al., 2019).

## 5.6. DISCUSSIÓ DE RESULTATS DE L'AVALUACIÓ DE LA QUALITAT DE LA SEA/DI EN TERMES DE LA CONFIABILITAT



D'acord amb el marc teòric i metodològic presentat (article 0 d'aquesta tesi doctoral, [enllaç](#)) la qualitat d'una SEA/DI en termes de confiabilitat (és a dir, el grau en què es pot confiar en el disseny de la SEA/DI plantejat perquè la seva implementació és fidedigna, els resultats d'aprenentatge són els esperats i es reforcen empíricament els principis de disseny en que es basa) s'ha de basar en l'avaluació de tres criteris: l'eficàcia nivell 1, l'eficàcia nivell 2 i l'eficàcia nivell 3.

Al llarg del procés de planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament de la SEA/DI l'avaluació de la confiabilitat ha adquirit una especial rellevància al final de la fase 2 (desenvolupament i pilotatge) i de la fase 3 (anàlisi retrospectiva). Així, l'avaluació de l'eficàcia a nivell 1, nivell 2 i nivell 3 ha estat lligada especialment al prototip 3 (Microxarxa, curs 2019-20 [enllaç](#)) i ha permès identificar les millores necessàries que s'han aplicat al prototip 4 (Volem ser científiques i enginyeres!, curs 2021-22, [enllaç](#)). Aquest fet respon a la necessitat de garantir que la SEA/DI dissenyada és suficientment vàlida i útil analitzades pels prototips 1 i 2, abans d'analitzar la seva confiabilitat.

Les evidències i resultats obtinguts per a cadascun dels criteris anteriors formen part dels articles 2 ([enllaç](#)) i 3 ([enllaç](#)) d'aquesta secció. No obstant això, a continuació fem una revisió dels principals instruments utilitzats, tipus d'anàlisi, resultats, modificacions i aportacions derivades de l'avaluació de la qualitat en termes de la confiabilitat. Un resum de tots els aspectes anteriors es troba a la Taula 13.


A banda dels articles citats anteriorment (articles 2 i 3), el producte principal obtingut de l'avaluació de la qualitat de la SEA/DI en termes de confiabilitat ha estat el prototip 4 de la SEA/DI que s'ha implementat durant el curs 2021-22 i es considera el prototip definitiu d'aquest procés IB. Aquest prototip juntament amb la guia docent es pot consultar en obert al següent [enllaç](#).

Taula 13. Resum de les dades, tipologia d'anàlisi, resultats i modificacions derivades de l'avaluació de la confiabilitat i dels criteris d'eficàcia nivell 1, 2 i 3 de la SEA/DI.

AVALUACIÓ DE LA CONFIABILITAT						
CRITERI	ELEMENTS	INSTRUMENTS	TIPUS ANÀLISI	RESULTATS	MODIFICACIONS DERIVADES	APORTACIONS
EFICÀCIA NIVELL 1 O DEL DISSENY	Implementació de SEA/DI i Materials educatius dissenyats	DADES PRINCIPALS	Anàlisi descriptiva de la adequació i relació entre la implementació realitzada i els materials dissenyats	<p><b>PROTOTIP 3:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- S'observa que els docents tenen algun dubte en la implementació d'algunes de les activitats</li> <li>- S'observa que al donar exemples clau els docents són capaços de seguir implementant l'activitat com havia estat dissenyada...</li> </ul> <p><b>PROTOTIP 4:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exceptuant petits matisos amb poca rellevància didàctica els materials educatius s'implementen tal com havien estat dissenyats</li> </ul>	<p><b>MODIFICACIONS AL PROTOTIP 2 (PROTOTIP 3):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Aclariment d'alguns aspectes clau de les activitats a la guia didàctica pels docents. Especialment s'afegeixen exemples de preguntes que poden ajudar als docents a guiar la seva implementació.</li> </ul> <p><b>MODIFICACIONS AL PROTOTIP 3 (PROTOTIP 4):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-No es fan canvis importants més enllà de la correcció d'errates ortogràfiques i gramaticals.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prototip 3 i 4</li> </ul> 
		DADES SECUNDÀRIES				
EFICÀCIA NIVELL 2 O DELS RESULTATS	Objectius i Resultats d'aprenentatge	DADES PRINCIPALS	Anàlisi qualitatiu interpretatiu centrar en l'anàlisi del discurs multimodal	<p><b>PROTOTIP 3:</b></p> <p><b>PER L'OBJECTIU DE CONSTRUIR IDEES DEL MODEL CORPUSCULAR DE MATÈRIA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- S'observa que des de l'inici les idees de l'alumnat sobre l'aire contaminat són més sofisticades que les de l'aire net.</li> <li>-Quan l'alumnat parla de l'aire net a simple vista (nivell macro) ho fa com una substància continua i transparent.</li> <li>- En l'aire contaminat, s'observa una evolució des d'una idea de contaminació atmosfèrica com a substància gris, amb brutícia o associada a objectes (p.ex. ampolles de plàstic...) cap a la idea que tot i que no es percepí a simple vista l'aire pot estar contaminat.</li> <li>-Les idees de l'alumnat sobre l'estructura de l'aire net si se l'imagina "per dins" evoluciona des d'una concepció d'aire com un continu a nivell macro a una idea d'aire com a semi-continu i a nivell meso.</li> <li>-En relació a la naturalesa també s'observa una evolució cap a una idea d'aire com a substància amb més d'un component.</li> <li>-Es segueix observant però, que l'alumnat té dificultats per identificar els diferents components que formen l'aire.</li> <li>-Les idees d'aire contaminat evolucionen des d'una àmplia diversitat a una visió de la contaminació atmosfèrica com a fenomen semi-continu a la meso escala, que implica més d'un component no present naturalment a l'atmosfera.</li> <li>-També s'observa una major progressió en les idees d'estructura i naturalesa de l'aire contaminat que en les de l'aire net.</li> </ul> <p><b>PER L'OBJECTIU D'APRENDRE A DISSENYAR PREGUNTES INVESTIGABLES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- S'identifiquen tres dimensions clau en les preguntes investigables: 1) el focus de la pregunta, 2) el tipus de pregunta i 3) la experimentalitat de les preguntes. Dins d'aquesta última dimensió s'inclouen dues subcategories: 3.a) la naturalesa empírica i 3.b) la plausibilitat</li> <li>-La majoria de l'alumnat des de l'inici planteja des de l'inici preguntes relacionades amb la pregunta guia i generalment inclouen la variable dependent. No obstant això, la major part d'aquestes no són plausibles, no incorporen la resta de variables i són de tipologia molt diversa.</li> <li>-S'identifica que l'ús de la eina de bastida PaPER ajuda a bona part de l'alumnat especialment a incloure de manera explícita la variable independent, a plantejar preguntes d'experimentació i a plantejar preguntes plausibles pel context i els instruments en les que es vol dur a terme la recerca.</li> <li>-El feedforward docent ajuda a l'alumnat a consolidar alguns aspectes com, per exemple, la inclusió de la variable independent i alhora és clau en la incorporació d'aquells aspectes més difícils com la aparició explícita de les variables de control.</li> </ul>	<p><b>MODIFICACIONS AL PROTOTIP 3 (PROTOTIP 4):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducció d'una activitat per construir de manera explícita la idea d'aire net com una substància que a nivell meso/submicroscòpic podem imaginar com a parts/partícules de diferent natura (tasca 1.1. del prototip 4)</li> <li>-Aclariment d'alguns aspectes clau de les activitats a la guia didàctica pels docents. P.ex. Afegint explícitament un aclariment del perquè cal que l'alumnat faci prediccions i les justifiqui (p.27 guia docent del prototip 4).</li> <li>A més a més, s'afegeixen exemples de preguntes específiques que poden ajudar als docents a guiar la seva implementació. P.ex. "Quines coses cal mirar que sempre siguin iguals?" (p.25 guia docent prototip 4)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prototip 3 i 4</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>ARTICLE 2.</b> Tena È., Couso D. (2021) What Is City Air Made of? An Analysis of Pupils' Conceptions of Clean and Polluted Air. In: Levirni O., Tasquier G., Amin T.G., Branchetti L., Levin M. (eds) Engaging with Contemporary Challenges through Science Education Research. Contributions from Science Education Research, vol 9. Springer, Cham. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-74490-8_11">https://doi.org/10.1007/978-3-030-74490-8_11</a></li> <li>-Idees clau de l'aire net i de l'aire contaminat i model esperat (target model) per a l'alumnat del cicle superior de primària</li> <li>- <b>ARTICLE 3.</b> Tena, È i Couso, D. ( en premsa) El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria. Enseñanza de las Ciencias. <a href="https://ensciencias.uab.cat/article/view/p-tena-couso">https://ensciencias.uab.cat/article/view/p-tena-couso</a></li> <li>- Identificació de les dimensions clau de la "investigabilitat" d'una pregunta i el seu ús per a l'anàlisi de les produccions de l'alumnat</li> <li>- Progressió d'aprenentatge de l'habilitat de dissenyar preguntes investigables per a l'alumnat del cicle superior de primària.</li> </ul>
		DADES SECUNDÀRIES				



Taula 1. (continuació). Resum de les dades, tipologia d'anàlisi, resultats i modificacions derivades de l'avaluació de la confiabilitat i dels criteris d'eficàcia nivell 1, 2 i 3 de la SEA/DI.

CRITERI	ELEMENTS	INSTRUMENTS	TIPUS ANÀLISI	RESULTATS	MODIFICACIONS DERIVADES	APORTACIONS
EFICÀCIA NIVELL 3 O DE LES TEORIES	Principis de disseny i resultats d'aprenentatge	<p><b>PER L'OBJECTIU DE CONSTRUIR IDEES DEL MODEL CORPUSCULAR DE MATÈRIA:</b></p> <p>-Tasca inicial (tasca 0.1.) i tasca final (tasca 3.4) de la SEA/DI on l'alumnat expressa les seves idees inicials i finals respectivament</p> <p>-Articles sobre el model corpuscular de matèria i de la contaminació atmosfèrica que té alumnat de cursos inferiors i superiors (p.ex. Solé et al. 2019; Talanquer 2013, 2020; Moltó, 2022)</p> <p><b>PER L'OBJECTIU D'APRENDRE A DISSENYAR PREGUNTES INVESTIGABLES:</b></p> <p>-Tasca relacionada amb el disseny de preguntes investigables (primera tasca del 2.2.) recollida en 3 moments</p> <p>-Articles sobre la destresa de dissenyar preguntes científicament investigables que té alumnat de cursos inferiors i superiors (p.ex. Cruz-Guzman et al. 2013; Ferrés-Gurt, 2017; Rojas i Joglar, 2017; Lombard i Schneider, 2013; Sanmartí i Márquez, 2012)</p>	Anàlisi qualitatiu interpretatiu centrar en l'anàlisi del discurs multimodal	<p><b>PROTOTIP 3:</b></p> <p><b>PER L'OBJECTIU DE CONSTRUIR IDEES DEL MODEL CORPUSCULAR DE MATÈRIA:</b></p> <p>-S'identifiquen en les produccions de l'alumnat <b>idees alternatives apuntades per la literatura</b> en l'àmbit (p.ex. Diver et al. 1994; Thornober et al 2016). Algunes d'aquestes es superen amb la SEA/DI (p.ex. la idea d'aire net com a continuu) i altres romanen (p.ex. la idea de "partícula" entesa com a part petita d'una substància amb les seves mateixes propietats..).</p> <p>-S'identifica el <b>potencial del context de la contaminació atmosfèrica</b> i la SEA/DI per ajudar a l'alumnat a construir idees de l'aire net i contaminat més properes a les del model científic escolar i per superar algunes idees alternatives apuntades a la literatura com, per exemple, que la contaminació només existeix quan es pot percebre pels sentits (veure, olorar...) (Thornober et al. 2016; Iliopoulou, 2016).</p> <p>-Els resultats apunten que la SEA/DI fomenta que l'alumnat avanci en la concepció de la idea d'aire net com a substància semi-continua i en la mesoescala. Aquests resultats reforcen algunes recerques anteriors (Karata et al. 2013; Talanquer, 2013, 2020; Meijer et al., 2013) que apunten que al cycle superior de primària la <b>idea de matèria com un semi-continua i a la mesoescala</b> podria ser considerada com una <b>idea intermèdia "suficientment" adequada</b> que permet la posterior construcció d'una idea de matèria més propera a la de la ciència professional.</p> <p><b>PER L'OBJECTIU D'APRENDRE A DISSENYAR PREGUNTES INVESTIGABLES:</b></p> <p>-Els resultats obtinguts apunten que l'alumnat del cycle superior de primària <b>és capaç de plantejar</b> preguntes científicament investigables però també s'identifiquen reptes relacionats amb aquesta habilitat (p.ex. que les preguntes dissenyades incloguin explícitament les variables que es volen mesurar) que han estat apuntades per recerques anteriors amb alumnat més gran (Ferrés-Gurt, 2017; Cruz-Guzmán et al., 2013; Lombard i Schneider, 2013)</p> <p>-Els resultats reforcen la <b>importància</b> que la literatura ha atorgat a les <b>bastides</b> per a l'alumnat en forma d'eines didàctiques ben dissenyades (Chin i Osborne, 2008; Chen et al. 2015; Puntambekar i Kolodner, 2005).</p> <p>-Els resultats reforcen la <b>rellevància del feeforward docent</b> per ajudar a l'alumnat en el seu aprenentatge, especialment d'aquells aspectes en els que mostra una major dificultat (Chin i Osborne, 2008; Couso, 2014; Furtak et al., 2012; Lombard i Schneider, 2013; Romero-Ariza, 2017).</p> <p>-Tenint en compte els resultats de l'alumnat es identifica una <b>progressió d'aprenentatge</b> amb cinc nivells de sofisticació per a l'habilitat de dissenyar preguntes investigables de l'alumnat del cycle superior de primària. Els nivells identificats són coherents i alhora complementaris als identificats per Ferrés-Gurt (2017) per alumnat de més edat.</p>		<p>- Prototip 3 i 4</p>  <p>- <b>ARTICLE 2.</b> Tena È., Couso D. (2021) What Is City Air Made of? An Analysis of Pupils' Conceptions of Clean and Polluted Air. In: Levrini O., Tasquier G., Amin T.G., Branchetti L., Levin M. (eds) Engaging with Contemporary Challenges through Science Education Research. Contributions from Science Education Research, vol 9. Springer, Cham. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-74490-8_11">https://doi.org/10.1007/978-3-030-74490-8_11</a></p> <p>-Idees clau de l'aire net i de l'aire contaminat i model esperat (target model) per a l'alumnat del cycle superior de primària</p> <p>- <b>ARTICLE 3.</b> Tena, È i Couso, D. ( en premsa) El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria. Enseñanza de las Ciencias. <a href="https://ensciencias.uab.cat/article/view/ep-tena-couso">https://ensciencias.uab.cat/article/view/ep-tena-couso</a></p> <p>- Identificació de les dimensions clau de la "investigabilitat" d'una pregunta i el seu ús per a l'anàlisi de les produccions de l'alumnat</p> <p>- Progressió d'aprenentatge de l'habilitat de dissenyar preguntes investigables per a l'alumnat del cycle superior de primària.</p>

### 5.6.1. ANÀLISI DE L'EFICÀCIA NIVELL 1 (O DEL DISSENY) DE LA SEA/DI

Per a l'avaluació de l'eficàcia nivell 1 (és a dir, fins a quin punt la implementació de l'activitat es realitza d'acord amb el disseny de la mateixa i, per tant, passa a l'aula allò que ha de passar) s'ha optat per una anàlisi descriptiva no exhaustiva, però suficientment profunda de l'adequació i relació entre la implementació i els materials dissenyats a partir de l'observació participant i no participant de la implementació del prototip 2 ([enllaç](#)) i el prototip 3 ([enllaç](#)) de la SEA/DI. Aquesta s'ha dut a terme durant els cursos 2018-19 i 2019-20 respectivament.

Aquestes anàlisis han permès identificar dubtes dels docents en la implementació d'algunes de les activitats proposades especialment durant la implementació del prototip 2. Destaquen especialment els dubtes d'aquest col·lectiu en l'activitat en què l'alumnat ha de dissenyar la seva pròpia recerca (activitat de recerca de la contaminació, tasca 2.2. a la Taula 5). Una de les possibles explicacions per aquest fet és que, d'acord amb les recerques de Romero-Ariza et al. (2020) entre d'altres, aquesta no és un tipus d'activitat habitual a l'aula de primària a la qual docents i alumnat estiguin acostumats.

No obstant això, després d'observar a la investigadora principal fent algunes preguntes o donant exemples clau, els docents són capaços de continuar implementant l'activitat tal com havia estat dissenyada. És per aquest motiu que, tal com es mostra a la Figura 25, algunes de les preguntes i/o exemples clau que poden funcionar com a bastida pel feedforward docent s'han incorporat com a part del material didàctic docent dissenyat del prototip 3 (pàgines, 23, 25 i 27 del prototip 3, [enllaç](#)).

<b>Què vull investigar?</b>	<p>En aquest apartat l'alumnat haurà de plantejar una pregunta investigable. Aquestes són preguntes productives que porten a realitzar una experimentació que tenen les següents característiques: (1) no es poden respondre amb un sí o un no sinó que demanen una explicació més complexa, (2) no es poden resoldre buscant informació per internet, (3) s'han de poder fer amb el material del que es disposem a l'aula i (4) han de ser concretes.</p> <p><b>Sub-habilitat que es pretén desenvolupar:</b> Reconèixer o formular una pregunta investigable que sorgeixi d'un problema concret.</p> <p><b>Exemple de preguntes NO investigables</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quanta contaminació hi ha a l'aire de l'escola?, Quina és la part més contaminada de l'escola? (Pregunta poc concreta, no es pot respondre amb el material disponible)</li> <li>• Quines són les fonts de contaminació de la nostra ciutat? (La resposta la trobem a internet)</li> <li>• L'hort està contaminat? (La resposta és Sí o No)</li> </ul> <p><b>Com ajudar a l'alumnat?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificant i acotant les variables que es voldran observar, per exemple: temps d'exposició, localització de les experiències i altres variables</li> </ul> <p><b>Exemple de preguntes investigables:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En quin passadís hi ha més contaminació en un obert o en un tancat? Quanta contaminació hi ha al pati dels petits i al pati de primària? (variable identificada: localització)</li> <li>• A quina hora del dia hi ha més contaminació? (variable identificada: temps d'exposició)</li> <li>• L'aire de l'aula està més contaminat durant 1h quan hi ha gent o quan no? (variable: temps d'exposició i altres variables que poden afectar –presència o no de gent–)</li> <li>• Quan hi ha més contaminació a la entrada de la nostra escola: entre setmana (dijous i divendres) o el cap de setmana? Què està més contaminat una classe tancada o el pati durant 1h? (variables identificades: temps d'exposició i localització)</li> </ul>
<b>Què necessito?</b>	<p>En aquest apartat l'alumnat no només haurà de pensar quin material, fonts... haurà de tenir en compte en la seva experiència, sinó que també quines variables necessita controlar. Per exemple, la necessitat que tots els instruments per recollir dades siguin iguals per poder comparar les mostres.</p> <p><b>Sub-habilitat que es pretén desenvolupar:</b> Identificar quins són els elements que intervenen i que es necessiten per dur a terme la investigació.</p> <p><b>Com ajudar a l'alumnat?. Algunes preguntes.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Com podem recollir la contaminació? Com la podríem mesurar? Com podríem saber si hi ha molta o poca?</li> </ul>

Figura 25. Exemple d'anotacions, preguntes i exemples clau que poden ajudar a l'alumnat i que apareixen al material docent del prototip 3 com a guia pels mestres.

Al llarg de la implementació del prototip 3 s'observa una millora en la comprensió de l'activitat d'indagació proposada al material didàctic per part dels docents i també en el seu



acompanyament. Els petits ajustos i matisos necessaris s'han incorporat al material didàctic del prototip 4 ([enllaç](#)).

### **5.6.2. ANÀLISI DE L'EFICÀCIA NIVELL 2 (O DELS RESULTATS) DE LA SEA/DI**

---

Per a l'avaluació de l'eficàcia nivell 2 (o dels resultats), és a dir, fins a quin punt l'anàlisi dels resultats d'aprenentatge proven que es compleixen els objectius d'aprenentatge que es persegueixen; s'ha fet una anàlisi qualitativa interpretativa de les produccions de l'alumnat a tasques del prototip 3 de la SEA/DI (tasques 0.1; 2.2 i 3.4 de la Taula 8).

Tal com s'ha posat de manifest al llarg de l'avaluació dels estudis 2 i 3, l'anàlisi de l'eficàcia nivell 2 s'ha centrat en els dos objectius principals de la SEA/DI: fer evolucionar les idees d'estructura i de natura de la matèria que té l'alumnat per explicar els fenòmens d'aire net i contaminat (estudi 2, [enllaç](#)); i fer evolucionar la seva l'habilitat de dissenyar preguntes científicament investigables (estudi 3, [enllaç](#)).

Els resultats obtinguts de l'anàlisi de l'evolució de les idees sobre el model corpuscular de matèria de l'aire net i contaminat formen part de l'article 2 ([enllaç](#)) d'aquesta tesi. Aquests han posat de manifest una evolució positiva general en les idees de l'alumnat que és especialment rellevant pel que fa a l'estructura i natura de l'aire net. Tot i que també s'observa una evolució positiva general de la idea d'aire net en les produccions dels nens i nenes, aquesta progressió no és l'esperada perquè en moltes de les produccions es continuen observant dificultats tant per a la identificació dels diferents components que formen l'aire net com per a la construcció d'una idea d'aire com a part/partícula a la meso/submicroescala.

A conseqüència dels resultats obtinguts del prototip 3 ([enllaç](#)) s'ha incorporat una activitat que incideix de manera explícita i directa en la construcció d'una idea d'aire net com a substància que a nivell meso/submicroscòpic podem imaginar com a part/partícules de diferent natura (tasca 1.1. del prototip 4) (Figura 26). Per fer-ho es busca que l'alumnat compari i discuteixi les seves produccions inicials tant amb els seus iguals com en gran grup amb el docent per acabar consensuant i construint una idea d'aire net adequada per a aquesta edat.

**1. COM ÉS L'AIRE NET?**

1.1. Compareu en petits grups com heu dibuixat la bossa d'aire net. En què s'assemblen i en què es diferencien els dibuixos dels integrants del grup?

Els dibuixos s'assemblen en que...	Els dibuixos es diferencien en que...

1.2. Poseu en comú tot el grup-classe les diferents explicacions dels petits grups i consensueu com podríem definir l'aire net. Recull aquí al consens al que heu arribat:

*Figura 26. Exemple de la tasca 1.1. que s'inclou en el prototip 4 de la SEA/DI per ajudar a l'alumnat a construir una idea d'aire net com a substància que a nivell meso/submicroscòpic podem imaginar com a part/partícules de diferent natura.*

D'altra banda, l'anàlisi i resultats de l'article 3 ([enllaç](#)) sobre l'habilitat en el disseny de preguntes investigables ens han permès observar una evolució positiva en les produccions de l'alumnat al llarg de la SEA/DI a l'utilitzar diferents estratègies didàctiques com una bastida cognitiva específica o el feedforward docent.

A més a més, aquesta anàlisi ens ha permès observar alguns aspectes de les preguntes investigables que l'alumnat incorpora de manera majoritària des de l'inici a les seves produccions (p.ex. preguntes relacionades amb una pregunta guia més general o la variable dependent). De la mateixa manera, s'ha identificat la necessitat de proporcionar eines didàctiques de bastida com l'eina PaPER per ajudar a l'alumnat a fer evolucionar els seus dissenys de preguntes investigables, per exemple, incorporant la variable independent, plantejant preguntes d'experimentació o preguntes i instruments plausibles pel context en què es volen dur a terme. Finalment, els resultats relatius al disseny de preguntes investigables després de rebre un feedforward docent ajustat mostren que aquest ajuda a l'alumnat a consolidar alguns aspectes (p.ex. la inclusió de la variable independent) i a incloure aspectes que suposen una dificultat per a l'alumnat (p.ex. fer explícites les variables de control).

Els resultats anteriors han posat de manifest la rellevància de les estratègies utilitzades al llarg del procés de disseny de la pregunta investigable: la bastida i el feedforward docent ajustat. És per aquest motiu, que s'ha fet una revisió de la guia didàctica del prototip 3 ([enllaç](#)) i s'ha afegit, quan ha estat necessari al prototip 4 ([enllaç](#)), algunes preguntes específiques més que poden

ajudar als docents en la implementació, així com alguna justificació i aclariment sobre alguns dels apartats de la bastida.

### 5.6.3. ANÀLISI DE L'EFICÀCIA NIVELL 3 (O DE LES TEORIES) DE LA SEA/DI

---

Per a l'avaluació de l'eficàcia nivell 3 (o de les teories), és a dir, per conèixer fins a quin punt els resultats d'aprenentatge reforcen empíricament els principis de disseny en què es basa la proposta; també s'ha optat per una anàlisi qualitativa interpretativa de les produccions de l'alumnat a tasques del prototip 3 de la SEA/DI (tasques 0.1; 2.2 i 3.4 de la Taula 8).

En aquest cas, els resultats obtinguts de l'anàlisi de les produccions de l'alumnat s'han comparat i contrastat amb els resultats d'altres recerques sobre la mateixa temàtica. Bona part de les idees resultants d'aquesta comparació formen part de l'article 2 ([enllaç](#)) en cas dels aspectes sobre l'evolució del model corpuscular de l'alumnat, i de l'article 3 ([enllaç](#)) en cas de l'evolució de l'habilitat de dissenyar preguntes investigables per part de l'alumnat.

Específicament, l'avaluació de la confiabilitat en termes d'eficàcia nivell 3 pel cas de l'evolució del model corpuscular de matèria ens ha permès, en primer lloc, identificar que bona part de les idees alternatives que presenta l'alumnat han estat apuntades per altres recerques en l'àmbit (p.ex. Diver et al. 1994; Thornober et al 2016). Tenir en compte aquestes idees pel disseny dels diferents prototips de SEA/DI ha facilitat la seva superació en alguns casos (p.ex. la idea d'aire net com a continu) i ha facilitat la seva identificació en aquells casos que persisteixen (p.ex. la idea de "partícula" entesa com a part petita d'una substància amb les seves mateixes propietats). En segon lloc, s'ha identificat el potencial que té el context de l'aire net i contaminat per ajudar a l'alumnat a superar algunes de les idees alternatives més comunes (p.ex. que la contaminació només existeix quan es pot percebre amb els sentits -olorar, veure-... Thornober et al. 2016; Iliopoulou, 2016) i per a la construcció d'idees més properes a les de la ciència professional tot i que no iguals. En últim lloc, aquesta avaluació ha reforçat algunes recerques anteriors que apunten que al cycle superior de primària la idea de matèria com un semi-continu a la mesoescala podria ser considerada com una idea intermèdia "prou" adequada que permet la posterior construcció d'una idea de matèria més propera a la de la ciència professional.

Tenint en compte tots els aspectes anteriors, una de les contribucions principals d'aquesta recerca ha estat la definició d'unes idees clau i d'un model científic escolar apropiat (*target model* en anglès) per l'aire net i l'aire contaminat per a l'alumnat del cycle superior de primària. Concretament, els resultats obtinguts posen de manifest la necessitat de tenir en compte les idees de semicontinuitat i també de mesoescala com dos aspectes clau per a la construcció del model corpuscular de matèria. En aquest sentit, el model científic escolat d'aire net i contaminat apropiat pel cycle superior de primària hauria de buscar la construcció per part de l'alumnat d'una idea inicial de "partícules". On aquestes es poden entendre com a grànuls o petites parts amb les mateixes propietats que la substància i que es troben incrustades en algun material de suport continu o semicontinu. Aquest model hauria de diferenciar necessàriament entre les "partícules" de contaminació de l'aire com quelcom que es pot arribar a veure amb una lupa (mesoescala) de les "partícules" d'aire net que no es poden veure amb aquest instrument (escala atòmic-molecular).

Tot i que el model científic escolar definit en aquesta recerca per a l'alumnat del cycle superior de primària és coherent amb els resultats observats per a l'alumnat de major edat (Solé et al., 2021; Solé et al., in press) s'espera poder aprofundir en ell en futures recerques, per exemple, identificant com progressen aquestes idees en diferents etapes educatives (*learning*

*progression*) o aplicant les idees per a la interpretació d'altres contextos com el dels microplàstics.

En el cas de l'avaluació de l'eficàcia nivell 3 en termes de l'evolució de l'habilitat de dissenyar preguntes investigables per part de l'alumnat, els diferents resultats obtinguts han apuntat que l'alumnat de primària és capaç de plantejar preguntes científicament investigables, tot i que existeixen diversos reptes a tenir en compte. Aquest fet es troba en consonància amb recerques realitzades amb alumnat de major edat i que apunten que l'habilitat de dissenyar preguntes investigables cal desenvolupar-la progressivament i de manera iterativa al llarg de l'escolaritat (Ferrés-Gurt, 2017; Cruz-Guzmán et al., 2013; Lombard i Schneider, 2013).

Els resultats obtinguts a l'article 3 ([enllaç](#)) també reforcen, d'una banda, la importància que la literatura (Chin i Osborne, 2008; Chen et al. 2015; Puntambekar i Kolodner, 2005) ha atorgat a les bastides cognitives en forma d'eines didàctiques ben dissenyades per fomentar l'auto i coavaluació de les pròpies preguntes per part de l'alumnat. Especialment, perquè els nens i les nenes tinguin en compte la variable independent, la plausibilitat... en el disseny de les seves preguntes investigables. I, d'altra banda, la rellevància del feedforward docent com a estratègia per a la millora d'aquells aspectes especialment difícils en el disseny de preguntes investigables per a l'alumnat del cicle superior de primària com la incorporació explícita de les variables de control. Aquests resultats són coherents amb les recerques que apunten el paper del docent activador com un aspecte clau per a la indagació a les aules (Chin & Osborne, 2008; Couso, 2014; Furtak et al., 2012; Lombard y Schneider, 2013; Romero-Ariza, 2017).

L'avaluació de l'eficàcia nivell 3 realitzada tenint en compte les produccions de l'alumnat i alhora la literatura existent ens han permès fer aportacions als principis de disseny i a les eines de disseny d'aquest marc. La primera d'elles ha estat la identificació i definició de tres dimensions clau de la investigabilitat de les preguntes: (1) el focus, (2) la tipologia i (3) l'experimentalitat. Aquestes dimensions tant a nivell teòric com el seu ús per a l'anàlisi de les produccions de l'alumnat formen part de l'article 3 titulat "El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria" ([enllaç](#)).

La segona contribució ha estat el disseny d'una progressió d'aprenentatge empírica per a l'evolució de l'habilitat de dissenyar preguntes investigables en l'alumnat del cicle superior de primària formada per sis nivells de destresa (0-5) ([enllaç](#)). Tot i que s'ha observat certa coherència entre la progressió proposada i altres progressions existents (Ferrés Gurt, 2017) es pretén continuar aprofundint en aquestes en futures recerques sobre el tema.

Finalment, cal remarcar que la contribució principal als principis, eines de disseny, material didàctic, etc. d'aquesta recerca és la mateixa SEA/DI planificada, dissenyada, implementada, avaluada i redissenyada/refinat iterativament. Especialment, el prototip 4 del curs 2021-22 que incorpora tots aquells aspectes i millores resultants de l'avaluació de la qualitat realitzada en termes de les tres dimensions: la validesa, la utilitat i la confiabilitat. Aquest prototip es pot trobar per consultar en obert al següent [enllaç](#).





# SECCIÓ

# 6

## **CONCLUSIONS, CONTRIBUCIONS I LIMITACIONS DE LA RECERCA**



## 6

## CONCLUSIONS, CONTRIBUTIONS, AND LIMITATIONS OF THE RESEARCH

In agreement with the design based research (DBR) paradigm (DBR Collective, 2003; Guisasola et al., 2021), this thesis provides different theoretical contributions and outputs.

The conclusions of the research work of this thesis have been structured in three main blocks. The first one is related to a theoretical and methodological framework to evaluate the quality of teaching and learning sequences (TLS) designed from the design-based research (DBR) paradigm. This framework has already been published by Tena & Couso (in press) and it is presented in this thesis as a part of the theoretical framework (section 1). As such, it is used to structure the studies of this thesis and underpin both the design and research objectives of this thesis.

The second block answers the research objectives and research questions of this thesis. In this sense, this block corresponds to what we can conclude from the process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of a TLS within the above presented framework for the quality evaluation in DBR. These conclusions derive from the implementation in practice of the mentioned framework to evaluate and improve the quality in different school contexts of a TLS for 10-12-year-old students about clean and polluted air phenomena. This has allowed us to assess the quality criteria of validity, usefulness, and reliability of the TLS and guide its changes from prototype 1 to prototype 4. All these prototypes have two main learning goals: to improve students' ideas about structure and nature of the particle model of matter, and to improve the students' scientific practice of designing scientific research questions.

The third block of conclusions is related to the design objectives of the thesis. Concretely, it refers to both the educational products and research implications derived from this research work. This includes conclusions about the final version of the TLS (prototype 4, [link](#)) but also, specific educational tools produced in this research, such as the PaPER scaffolding tool to guide primary school students open-guided inquiries or a learning progression for the students' practice of designing scientific research questions. Additionally, it includes conclusions regarding other constructs that can be understood as something in between contributions to design principles and actual design tools, such as the identification of an evidence-based target model of pollution adequate for primary school students and the dimensions to analyse the "researchability" of a school-based research question. Finally, conclusions about the design principles and design tools both developed and/or used in the elaboration of the TLS, such as ideas on the modelling and inquiry cycles used to guide the sequence of activities, have also been included.

The implementation and analysis of the previous research outputs in a real classroom and investigation context has produced interesting empirical results. These results have allowed us to contribute to the two different science education research frameworks used within the thesis: the both theoretical and methodological DBR framework (DBR Collective, 2003; Guisasola et al., 2021; Plomp & Nieveen, 2013) and the Scientific Practices framework (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2012; NRC, 2012; Osborne, 2014).

Specifically, as we will explain in detail in the following paragraphs, this research contributes to the DBR paradigm by documenting an example of applying in a real context the quality framework designed to empirically evaluate a series of prototypes of a TLS. This provides a rich example of how to evaluate TLSs in a chronological, sequential and accumulative way that respects the logical hierarchy between the different dimensions of quality: validity, usefulness, and reliability. It also provides an example of how to ensure quality both at conceptual and practice-oriented level, by analysing: a) the progression of students' ideas on the structure and nature of clean and polluted air; b) the progression of the students' inquiry scientific practice of developing scientific research questions to investigate the air quality in their own schools. In addition, by validating the quality of TLSs based on some already known design tools such as the modelling and inquiry cycle (Couso, 2020; Jiménez-Liso, 2020), it adds to the evidence-based support these tools already have received in the science education literature.

On the other hand, this thesis also contributes to the Scientific Practices framework, not only at the conceptual level but also at both the procedural and epistemic levels. Specifically, we have contributed to existing knowledge on school-based scientific models by identifying 10-12-year-old students' ideas about the structure and nature of matter, and their evolution along a TLS to explain clean and polluted air phenomena (Tena & Couso, 2021). The results from this analysis of students' ideas along the TLS has contributed some important reflections about the target model of matter for upper primary school education. Particularly, our results allow us to signal the importance in primary school of understanding the mesoscale and the semicontinuity of matter as crucial stepping stones for students to build an appropriate model of matter to address relevant phenomena.

In addition, the research has contributed to our knowledge on one of the main scientific practices (NRC, 2012) expected from students: the design of scientific research questions. By analysing the upper primary students' initial competence on designing scientific research questions, and its improvement along the teaching when using different scaffolding strategies (e.g., the PaPER didactical tool and an adequate teacher's feedforward), we have been able to identify a learning progression focused on the main barriers students have to overcome to master adequately this practice (Tena & Couso, in press.).

In the following paragraphs, we explain in-depth the main contributions of this thesis and their implications to both research in science education and every-day classroom practice in upper primary school education. At the end of this chapter, we pointed out some of the most important limitations of the current research and also emerging questions that might guide future research.

## **6.1.BLOCK 1. CONCLUSIONS AND CONTRIBUTIONS RELATED TO:**

### **THE THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FRAMEWORK TO EVALUATE THE QUALITY OF TEACHING AND LEARNING SEQUENCES (TLS) WITHIN A DESIGN BASED RESEARCH (DBR) PARADIGM**

- 1. An operative theoretical and methodological framework to evaluate and improve iteratively the quality of designed Teaching and Learning Sequences (TLS) should**

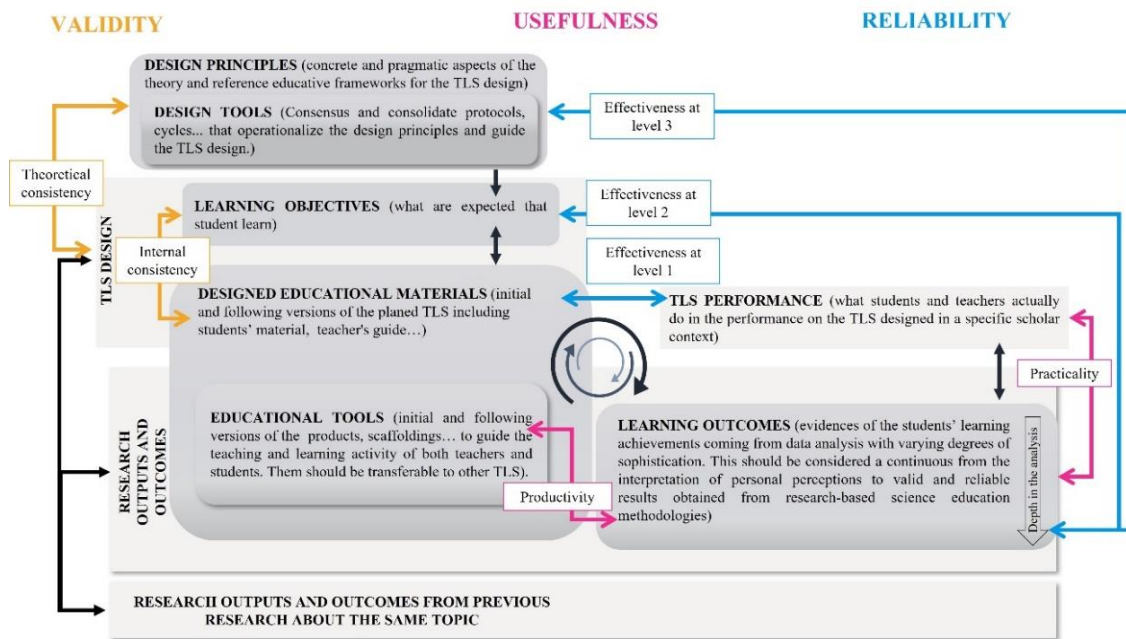
**be focused on specific evaluation criteria that operationalizes how we understand quality, and which are applied following a logical hierarchy.**

Although evaluation in the DBR paradigm has been identified as a key process (DBR Collective, 2003), few investigations have been done about how to specifically evaluate the quality of a TLS in this paradigm (Guisasola et al., 2017; Hernández Rodríguez, 2018; Nieveen & Folmer, 2013). Articles usually do not include detailed descriptions about how the TLS evaluation was done (e.g., who was involved in, which kind of evidences they used...), what they evaluated (e.g., which achievement or performance criteria they used...), and rarely they include information about how the results helped designers along their decision-making process (Guisasola et al., 2017, 2021; Guisasola & Oliva, 2020; Psillos & Kariotoglou, 2016). As different authors highlight, even in those articles where “quality” is actually evaluated, a huge range of interpretations about what quality means is found (van den Akker, 1999, 2013). In some cases, TLSs have been considered of high-quality when they have been iterated several times; or only based on the analysis of students’ conceptual learning achieved (Nieveen & Folmer, 2013).

In this research, we provided a theoretical and methodological framework that underlined the importance of supporting the evaluation of quality TLSs on specific evaluation criteria, differentiating between performance criteria and achievement criteria. Following the ideas of Blessing & Chakrabarti (2009) and Sanmartí (2010), performance criteria are related to the aspects in which we expect a TLS to prove quality, for instance, a performance criterion is that of internal consistency, meaning that educational activities allow theoretically to achieve the learning objectives. On the other hand, achievement criteria are related to the level of sophistication or degree of accomplishment expected for each performance criteria, for example, when the agreement between the learning objectives and the designed educational material is almost of a 90%, we could agree that the TLS has internal consistency. The tests that must be done to collect evidences about each evaluation criteria, for example, a test to analyse the coherence between the learning goals and the designed educational materials of a TLS (internal consistency in the provided framework) derives from both the performance and achievement criteria decided to be used.

In this thesis we have provided a framework to evaluate the quality of a TLS in terms of both performance and achievement criteria using three dimensions of quality: validity, usefulness, and reliability. In order to operationalize this framework, seven specific evaluation criteria have been proposed: internal consistency, theoretical consistency, practicality, productivity, and effectiveness at levels 1, 2 and 3. These theoretical and methodological framework is published in Tena & Couso (in press) article, and the most important parts of them are described in Figure 1 to include here an English version for communication purposes.





*Figure 27. English version of the theoretical and methodological framework published in Tena & Couso (in press). In grey colour, the essential elements and crucial stages of a TLS that has been identified in a DBR paradigm. On the left side and yellow colour, the established relationship between the elements and stages within the validity dimension and their criteria. At the bottom and in pink colour, the established relationship within the usefulness dimension and their criteria. And, on the right side and blue colour, the established relationship within the reliability dimension and their criteria.*

In this sense, the provided theoretical and methodological framework underline that when pursuing educational quality, the focus of the evaluation should not be on the consensus of the didactical ideas or pedagogical approach that all TLS should follow but rather on the identification and definition of the dimensions and criteria that should be considered for evaluating quality.

**1.1. The dimensions of quality proposed for the evaluation of TLS in the DBR paradigm are validity, usefulness, and reliability. Each one of them are applied according to different evaluation criteria: internal consistency and theoretical consistency for the validity; practicality and productivity for the usefulness; and effectiveness at level 1, effectiveness at level 2 or effectiveness at level 3 for the reliability.**

The evaluation of the quality of TLS in the DBR paradigm requires specifying which are the dimensions of quality and the specific evaluation criteria to be considered. Based on previous research (Hernández Rodríguez, 2018; Millar et al., 2002; Nieveen & Folmer, 2013), three dimension for the quality analysis of TLSs in a DBR paradigm are suggested: validity, usefulness and reliability. Each one of them have been specified and defined by different evaluation criteria that operationalized the scope of the dimensions of quality.

The quality dimension of validity indicates to what extent the design of the TLS (both learning objectives and designed educational materials) is coherent with and based on current science education, pedagogical, and professional science knowledge. In our framework, the validity dimension is evaluated by two specific evaluation criteria: the internal consistency and the theoretical consistency. On the one hand, internal consistency indicates to what extent the designed educational materials allow, at least theoretically, the achievement of the learning

goals. On the other hand, the theoretical consistency indicates to what extent the TLS design is based on design principles and science education, pedagogical, and professional science state-of-the-art knowledge.

The usefulness dimension analyses to what extent the design and the implementation of the TLS allow us to obtain useful educational/teaching tools and learning outcomes, understanding this usefulness in terms of their helpfulness to guide the implementation of the TLS in standard classroom contexts. This dimension is evaluated using the following evaluation criteria: practicality and productivity. Practicality indicates to what extent the implementation of the TLS is considered both feasible and fruitful based on the own experience or a simple on-the-go analysis of the learning outcomes. That is, after observing what has been done and said and interpreting what has been thought and felt during the implementation. Productivity indicates to what extent the TLS design includes educational/teaching tools that are useful and potentially applicable in other school contexts because they show their usefulness in terms of a simple on-the-go analysis of learning outcomes.

Reliability dimension indicates the degree to which the TLS design (learning objectives and designed educational materials) is trustworthy because its implementation is accurate, the learning outcomes are the expected ones, and they give empirical support to the design principles. Three evaluation criteria to evaluate the reliability of a TLS have been identified: effectiveness at level 1 (or effectiveness of the design), effectiveness at level 2 (or effectiveness of the learning outcomes) and effectiveness at level 3 (or theoretical effectiveness). The effectiveness at level 1 indicates to what extent the implementation of the TLS is accurately carried out according to the design, in such a way that what is planned to be done is what actually happens in classrooms. The effectiveness at level 2 indicates to what extent the analysis of the learning outcomes proves that the learning objectives of the TLS are met at the required level. And effectiveness at level 3 indicates to what extent the learning outcomes empirically support the design principles on which the proposal is based.

The identification and definition of the three dimensions of quality and seven evaluation criteria for the evaluation of the quality of TLS overcomes two limitations identified in the literature. The first limitation is the lack of formal criteria to measure, observe and evaluate TLS; as most of reported evaluations are based on teachers', designers', and/or researchers' feelings, intuition and informal criteria (Hernández Rodríguez, 2018; McDermott, 2001). In this sense, the provided framework allows identifying, defining, and operationalizing a formal, measurable, and observable procedure for ensuring quality. The second one is related with the limiting idea that the quality of a TLS should be measured only in terms of its effectiveness (Nieveen & Folmer, 2013). To overcome this idea, other evaluation criteria such as the internal and theoretical consistency, the productivity, or the practicality have been included as explicit parts of the framework.

**1.2. The application of the evaluation criteria requires the analysis of the connections between the essential elements (such as design tools or design principles) and crucial stages (such as design or implementation) in the planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of a TLS, aiding both the evaluation and decision-making process.**

Evaluation criteria in the provided theoretical and methodological framework for the evaluation of the quality are based on the analysis between essential elements (e.g., design principles or learning goals) and crucial stages (e.g., design or implementation /put into practice) in the

process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of a TLS within the DBR paradigm. For example, the internal consistency (one of the validity criteria) analyses the relation between the learning goals and the educational materials of the designed TLS. On the other hand, the effectiveness at level 2 (one of the reliability criteria), analyses the relation between the students' learning outcomes and the TLS's learning objectives.

Although we propose the use of some specific dimensions and criteria to evaluate the quality of a TLS, the list of possible evaluation criteria to be used is not exhausted in this research piece. In fact, in the literature different criteria are used to ensure validity, usefulness, and reliability depending on the context and methodologies used. Examples are the use of criteria such as plausibility, trustworthiness, dependability, transferability, confirmability, credibility, and many others. The use of these criteria or others considered relevant by the authors of a TLS is compatible with the framework suggested, as one can choose which of them is more suitable for their own purposes. For example, in order to ensure reliability in terms of effectiveness at level 2 (relation between students' learning outcomes and the TLS's learning objectives) one can do so also ensuring that there is no researcher bias (for instance using methods to increase dependability), or that the results are more transferable (for instance using multiple school contexts or randomized participants). As such, we put the focus more in a) which dimensions of quality are crucial, and b) what elements and stages of the process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining should be analysed when applying any operational definition of these criteria.

Linking the evaluation criteria definition with the essential elements and crucial stages that constitute the process of developing an evidence-based TLS helped us not only to evaluate its quality, but also to guide and underpin the decision-making process behind the changes done to the TLS. This is in line with what Guisasola et al. (2017; 2020) identifies as a limitation in the DBR evaluation literature: the lack of connection between the evaluation of quality and the changes done to specific elements of the TLS and modifications in specific stages related to them.

### **1.3. There is a logical hierarchy between the identified dimensions of quality (validity, usability, and reliability) which proposes a chronological sequence to evaluate the quality of a TLS within the DBR paradigm.**

The theoretical and methodological framework for the iterative evaluation and improvement of a concrete TLS highlighted the existence of what Plomp's (2013) and Romero-Ariza's (2014) called logical hierarchy between the three identified dimensions of quality and their evaluation criteria. This hierarchy emphasizes the sequential and chronological, but also accumulative, nature of the processes to be undertaken to ensure quality of a TLS.

As it has been shown in this thesis, a both logical and plausible order of the dimensions of quality is that of ensuring validity before usefulness, and both validity and usefulness before reliability at its different levels. For example, a deeper analysis of both validity evaluation criteria: internal consistency (to what extent the designed educational materials allow, at least theoretically, the achievement of the learning outcomes) and theoretical consistency (to what extent the TLS design is based on design principles and the science education, pedagogical, and professional science state-of-the-art knowledge) should be evaluated before the evaluation of the practicality (to what extent the TLS performance is considered fruitful based on the own experience or a simple analysis of the learning outcomes) and productivity (to what extent the TLS design includes educational/teaching tools that are useful and applicable in other scholar

contexts). In the same way, the reliability of the TLS should be evaluated after being sure that the TLS is useful enough in practice.

This sequential but also accumulative nature of both the dimensions of quality and the evaluation criteria to be used, can be organized chronologically following the common phases that the literature identifies as part of the design process of a TLS within a DBR paradigm. As such, ensuring validity is mostly focused on phase 1 devoted to initial theoretical grounding; usefulness is mainly focused of phase 2 or development and pilot implementation; and the ensuring of reliability is mostly done in phase 3 of retrospective analysis.

Even though it has been identified differences between the relevance of the evaluation of each dimension of quality and evaluation criteria in different prototypes, a continuous attention to all of them along the process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of a TLS is essential to guarantee the quality of the final TLS.

**1.4. Although the characteristic iterative process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining is important in the DBR framework, the quality analysis of the TLS should not be focused on the number of iterations done but on how these iterations help us in the evaluation of quality and the decision-making accordingly.**

Iteration has been identified in DBR literature as one of the main characteristics of the paradigm (DBR Collective, 2003; Plomp & Nieveen, 2013; Romero-Ariza, 2014). Moreover, some research considers the number of iterations (usually three) an evaluation criterion for the quality of a TLS. However, neither justification about why this number of iterations nor a deeper explanation about what it is improving in each iteration are often explained.

As we pointed out in this thesis, iterations should not be considered an evaluation criterion “per se”. As such, in the theoretical and methodological framework for the evaluation of the quality of TLSs that has been pointed out, the number of iterations that could or should be done is not explicitly specified. However, we consider that at least one implementation of the TLS in real conditions of practice is an essential feature of its design and evaluation to be able to have students’ learning outcomes, which is an essential element to guarantee usefulness and reliability at levels 2 and 3 in the purposed framework.

From this perspective, the presented framework challenges the well-spread myth that there is need of three or more iterations to ensure quality of a research and evidence-based TLS. An example would be that of a TLS on a well-studied topic in the science education literature, for which it is possible to do deeper preliminary research including large and systematic exploration and review of previous studies, expert appraisal, context analysis and previously piloted TLSs. In those cases, it is possible that just one iteration of the well-underpinned TLS, including design, implementation, and analysis of practice, can be enough for ensuring its quality. An example of this is a TLS around the topic of floating and sinking (Castillo-Hernández, 2022). In other cases, where the TLS topic and/or focused school scientific model includes emerging topics (such as the air pollution phenomena discussed in this thesis) for which there is few existing research, more iteration cycles are necessary (four in our case) to ensure the validity, usefulness, and reliability of the designed TLS.

**1.5. The use of the three quality dimensions and the seven evaluation criteria identified in the framework proves to be helpful to evaluate the quality of a**

**specific TLS for 10-12-year-old students about clean and polluted air and its iterative improvement, guiding the decision-making process on which changes need to be done from an initial prototype to a final version.**

The theoretical and methodological framework proposed in this thesis has been satisfactorily used in real practice (natural research and school contexts) for the evaluation of the quality of a specific TLS for 10-12-year-old students about clean and polluted air phenomena. This allows us to conclude that it is a feasible and plausible framework not only to ensure the quality of a TLS in terms of validity, usefulness, and reliability, but to guide its sequential, chronological, and accumulative refinement process from initial prototypes to more suitable final ones.

This conclusion is based on results obtained in both studies of this thesis and would be better justified in the following block.

## **6.2. BLOCK 2. CONCLUSIONS AND CONTRIBUTIONS** **RELATED TO:**

### **THE EVALUATION OF VALIDITY, USEFULNESS, AND RELIABILITY OF A TLS ON AIR POLLUTION PHENOMENA FOR 10-12-YEARS-OLD STUDENTS WITHIN A DBR PARADIGM**

According to the presented framework (see conclusions section, Block 1 [-link-](#)) the evaluation of the quality of a TLS on air pollution phenomenon for 10-12-years-old students is done by analysing validity, usefulness, and reliability along the three phases of DBR research to aid the process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of a TLS in a research and evidence-based manner. We have reached different conclusions regarding each of the aforementioned dimensions of quality that will be presented in the following paragraphs.

#### **6.2.1. CONCLUSIONS AND CONTRIBUTIONS RELATED TO THE VALIDITY AND USEFULNESS OF THE THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FRAMEWORK TO EVALUATE A SPECIFIC TLS FOR 10-12-YEAR-OLD STUDENTS ABOUT CLEAN AND POLLUTED AIR WITHIN A DBR PARADIGM**

---

**2. The analysis of the quality of the TLS about clean and polluted air in terms of the validity dimension highlights: 1) the relevance of explicitly including adequately hierarchized learning objectives in direct relationship with the educational materials of the TLS; 2) the importance of taking into account pedagogical and curricular considerations but also ideas from the professional science, science education research and didactical tools to define the learning objectives.**

**2.1. The analysis of validity of a TLS about clean and polluted air in terms of internal consistency criteria highlights the importance of identifying explicitly the learning objectives, their adequate hierarchical order and their direct connection with the teaching and learning activities**

The analysis of the validity dimension of the prototype 1 of the TLS for 10-12-years-old students about the clean and polluted air phenomena in terms of the internal consistency evaluation



criteria (which is focused on what extent the designed educational materials allow, at least theoretically, the achievement of the learning goals) showed us that, despite the learning objectives have been explicitly identified, there is a lack of consistency between them and the activities proposed as part of the educational material. Additionally, the analysis of the time expected that students spent to develop the learning objectives identified has pointed out the necessity of thinking about the hierarchy of them and adapt the number of activities and the expected time to them.

These results underline the relevance of making explicit and evaluate not only the objectives but also their hierarchy and the direct connection between them and the teaching and learning activities of the designed material.

The relevance of making explicit all these logical connections agree with previous research (Ogborn, 2002; Pintó, 2004) that has pointed out that to make transparent all these aspects related to the design process of a TLS could promote a more adequate teachers' implementation of predesigned TLSs. Additionally, it could also help teachers to avoid the omission of relevant activities of the design, or make important changes in the methodological approach that could distort completely the TLS orientation, which are common problems when they do not have the opportunity to understand in-deep the educational background behind the design of the TLS (Couso, 2016).

Furthermore, we agree with Castillo-Hernández (2022) that to make explicit all these aspects could also be helpful for other designers because by being transparent about the decision-making process related to the planning and designing of a TLS, this could become an example to replicate in their future TLSs designs.

## **2.2. The analysis of the validity of a TLS about clean and polluted air in terms of theoretical consistency criteria highlights the importance of defining and iteratively revising the designed TLS according to the relevant scientific, pedagogical and science education knowledge, in the form of design principles and design tools.**

The analysis of the validity dimension of 10-12-years-old TLS about the clean and polluted air in terms of the theoretical consistency evaluation criteria highlighted the relevance of taking into consideration the relevant scientific, pedagogical and science education knowledge for the planning, designing and the iteratively revising of the design principles, design tools and the designed TLS (including the learning objectives and the educational material).

The necessity of taking into consideration the state-of-the-art of different knowledge disciplines or dimensions of the disciplines are in line with ideas of Jiménez-Liso (2022) and Castillo-Hernández (2022) that underline the relevance of taking into consideration different kinds of knowledges or dimensions (such as psychological, content, epistemological or emotional) for the definition of the design principles and the design tools behind a TLS.

In this research has been especially identified the relevance of the professional scientific knowledge, and the model of Educational Reconstruction (Duit, 2007). Within this model, the school science ideas are based on both: ideas from the professional science, and previous science education research about teaching and learning of the same and similar topics.

A possible explanation is that clean and polluted air is an emerging phenomenon that is currently being investigated by both professional science and science education experts. The obtained

results highlight that in these cases of frontier knowledge, both the scientific knowledge and the educational reconstruction could have a key role in designing quality TLSs.

A specific example of this thesis about the relevance of both is that the importance that professional environmental epidemiologists give to the particulate matter pollution (PM) because of their role in front of other pollutants such as gases (Gignac et al., 2021) allowed us to the reformulation of the idea of air pollution, focusing the learning objectives of the TLS in the construction of this idea. In a similar way, the professional science ideas and the revision of the emerging science education literature highlighted the relevance of including explicitly the use of different scales (macroscale, mesoscale and atomic-molecular scale) for the construction of the particulate model of matter in schools (Solé et al., 2020).

**3. The evaluation of the TLS in terms of usefulness highlights: 1) the importance of considering and communicating transparently all the different learning objectives of the TLS; and 2) the relevance of the incipient or superficial analysis in terms of preliminary learning outcomes for the evaluation of the TLS.**

**3.1. The evaluation of the usefulness in terms of practicality should consider all the learning objectives of the TLS, making explicit and transparent those learning objectives related to cognitive constructs such as scientific knowledge and scientific practices, but also those related to affective ones such as STEM identity or stance.**

The evaluation of the practicality of the designed TLS about clean and polluted air for 10-12-year-old students should analyse not only if the TLS is feasible to implement in real school context, but also that it is fruitful because of the obtention of positive results in on-the-go analysis of both: learning objectives related to the cognitive constructs (e.g., scientific knowledge and scientific practices) but also, learning objectives related to affective ones (e.g., STEM identity or stances). This implies that both should be explicit and transparent for those who are on charge of the implementation of the TLS (usually the teachers). However, we agree with Domènech (2018) and Jiménez-Liso (2022) that in some cases this approach could not be explicit as a learning objective in the students' material but appears implicitly or as an instructional objective, and it is necessary to take them into account for the evaluation of the practicality.

In this thesis, for example, we are interested in the impact of the TLS in the cognitive constructs (see conclusions below about the efficacy of the TLS for the improvement on the students' ideas of particulate model of matter [-link-](#) and scientific research questions [-link-](#)) but also in affective ones related to the STEM stance of the participating students, including their identity, interest, competence, self-efficacy and aspirations (Grimalt-Álvaro et al., 2022).

Even though both objectives are explicit and transparent in the teachers' material, those aspects of the design related to the affective constructs are not as transparent in the students' material as the cognitive ones. However, they appear implicitly in different moments of the implementation. An example of this could be found in the initial video used for presenting students the air pollution phenomena. On it, we include deliberately a woman and a man as models of professional science researchers, both explaining things in which they are interested in (hobbies such as sports, ...) in addition to their interest and work in science. In addition, the female scientist was specifically chosen to look differently from the stereotypical prototype of

scientist: wearing a dress, using make up... (Archer et al., 2013; Kim, Sinatra, & Seyranian, 2018; Escalas et al. 2009) to overcome some of the well-known stereotypes that students' have about what a scientific person looks like.

In our research, the analysis of the impact of the TLS in terms of the affective constructs, and specifically to the students' ideas about their image of scientific people, highlights that after the implementation they have a more realistic and less stereotyped ideas about them. These ideas among others helped us to analyse the usefulness in terms of practicality.

**3.2. For the evaluation of usefulness in terms of both practicality and productivity, the on-the-go analysis and the preliminary results contributes richly to these initial phases of the evaluation and decision-making process of improving the quality of a TLS.**

As it has been argued in the thesis, the focus on the level of sophistication of the data analysis could be helpful to identify the necessary evidence for the evaluation of the quality of the TLS at any time.

In this sense, for example, research highlights the potential of the incipient results obtained from an on-the-go analysis based on individual and personal perceptions or feelings of the participants (designers, teachers, researchers and/or students) during the implementation for the evaluation of the usefulness dimension in terms of both practicality and productivity. For example, teachers' and students' attitudes and expressed ideas along the implementation of the TLS helped us to identify that some questions included as a part of the PaPER tool are not helpful enough for their purpose, or the necessity to differentiate those questions of the TLS which are essential from those which are not.

Despite the identified potential of the on-the-go analysis and the preliminary results for the evaluation and decision-making of the quality in the initial stages, it has also been identified that a deeper analysis based on research-based science education methodologies are required for the evaluation of the reliability of the TLS.

**4. The evaluation of the quality of the TLS especially in terms of the theoretical consistency, practicality, and productivity criteria benefits from the active contribution of relevant actors such as participating teachers, external observers, designers, researchers, students and/or families.**

The participation of different actors such as participating teachers, designers, science education researchers... has been pointed out as a key characteristic in previous DBR research (Guisasola et al. 2021; DBR Collective, 2003). The use of the provided theoretical and methodological framework for the evaluation of the TLS about clean and polluted air for 10-12-year-old students also highlights the relevance of including educational actors with different expertise, profiles, and roles in the TLS for their evaluation and redesign/refinement specially regarding the theoretical consistency (one of the validity criteria), the practicality and the productivity (both usefulness criteria).

In this thesis, for example, a substantial contribution has been done by the professional scientists in environmental epidemiology for the evaluation of the theoretical consistency. Concretely, their evaluation highlighted that some important ideas related to the current research in air pollution such as the relevance of particulate matter (PM) were not begin taking

into account in prototype 1. Similarly, the ideas of students, teachers involved in the implementation, and professional scientists in environmental epidemiology collected in different moments using interviews and questionnaires have also provided us essential information (e.g., activities that should be improved...) for the evaluation in terms of practicality. Additionally, the formal and informal opinions expressed by both teachers involved in the implementation of the TLS and external ones, helped us on the evaluation of the TLS and the PaPER tool as useful and potentially applicable outcomes in other contexts (their productivity).

We agree with Couso (2016); Hernández & Pintó (2016) that while in action research or other paradigms all the actors are usually involved in all the research stages in a similar level, in the DBR paradigm different levels and moments of involvement should be considered for any of the profiles involved. For example, in this research, a relevant role of the professional scientist has been identified in the evaluation of the theoretical consistency because of their role identifying the most important and current ideas related to the air pollution phenomena. Nevertheless, their contributions in the evaluation of practicality were not as relevant as the teacher's one.

Despite the promisingly obtained results more research about the participation of the different actors in the evaluation of a TLS from a DBR paradigm is necessary, for example, for the identification of which strategies are better to include them, or in which moments of the evaluation or evaluation criteria each actor does the most substantial contributions.

## **6.2.2. CONCLUSIONS AND CONTRIBUTIONS RELATED TO THE USE OF THE THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FRAMEWORK TO EVALUATE THE EFFECTIVENESS AT LEVEL 2 AND 3 OF THE SPECIFIC TLS FOR 10-12-YEAR-OLD STUDENTS ABOUT CLEAN AND POLLUTED AIR WITHIN A DBR PARADIGM**

---

### **5. Within the well-spread framework that understands science teaching and learning as participation in school scientific practices (Scientific Practices framework), the TLS reliability should be evaluated not only in terms of students' conceptual learning but also in terms of students' development of scientific practices.**

As research has pointed out, in most of the cases the quality of a TLS in terms of reliability (the degree to which the TLS design is trustworthy because its implementation is accurate, the learning outcomes are the expected ones, and the learning outcomes give empirical support to the design principles) is only based on the analysis of the students' conceptual learning (Nieveen & Folmer, 2013).

However, from a Scientific Practices framework (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2012; NRC, 2012; Osborne, 2014) that recognizes the importance of both the core ideas and the scientific practices as essential for the students' scientific literacy (NRC, 2012); an analysis of conceptual learning and procedural and epistemic students' practices is required to ensure the quality of a TLS. This idea is also aligned with how scientific literacy is evaluated in PISA (Jiménez-Aleixandre & Crujeiras, 2017; OCDE, 2015a).

For this reason, in this thesis, reliability of the TLS has been evaluated in terms of both conceptual and procedural/epistemic learning. Specifically, the learning outcomes considered in this research for the evaluation of the reliability are, on the one hand, the evolution of the students' ideas about particle model of matter to explain clean and polluted air phenomena;

and, on the other the evolution in the procedural/epistemic achievements related to the students' practice of designing scientific research questions.

6.2.2.1. Conclusions and contributions related to the reliability of the TLS in terms of the construction of students' ideas regarding the particulate model of matter applied to the phenomena of clean and polluted air

---

**6. Students aged between 10- 12-years old are capable of both thinking in concrete (e.g., what they see, smell, touch...) and in abstract terms (e.g., what they imagine, theorize...) about the structure and nature of clean and polluted air, using ideas of the particulate model of matter which they represent and declare in verbal and graphical forms.**

Although models are considered a key element in the process of teaching and learning science, a focus on models is scarce in the science education classroom at early stages (Clement, 2000; Duschl & Grandy, 2008; Garrido-Espeja & Couso, 2017; Gutierrez, 2014; Oh & Oh, 2010). One of the main restrictions identified in the literature for their introduction of models in primary schools is that they are abstract entities. For this reason, they are often considered unable to be constructed by the young children (Acher et al., 2007; Couso & Garrido-Espeja, 2017; Schwarz et al., 2009).

The analysis of the students' representations and models of clean and polluted air when seen with a naked eye (macroscale) and when looking "inside of it" (meso or atomic-molecular scale) are in agreement with the results of those authors who declare that primary school children are capable of thinking in concrete and abstract ways in primary school (Acher et al., 2007; Adbo & Taber, 2009; Lehrer & Schauble, 2019; Merino & Sanmartí, 2008; Schwarz et al., 2009). Like those of the mentioned authors, our results also show that they are capable to represent and explain their own ideas about those topics in both verbal and graphical form (Acher et al., 2006; Merino & Sanmartí, 2008).

The obtained results in this thesis highlighted those children' ideas are quite sophisticated and closer than expected to the scientific ideas regarding the particulate model of matter. For example, most of the students' final productions include an idea of air pollution as a small part of different substances that causes a change in the natural Earth's atmosphere.

In this sense, this research strengthens the importance to encourage studying relevant phenomena from the perspective of learning key scientific models from early school ages, understanding that these initial student's models are a necessary step towards the construction of more sophisticate versions of these models in a systematic and accumulative way along the school years (Acher et al., 2007; Couso & Garrido-Espeja, 2017; Lehrer & Schauble, 2019; NRC, 2012). Additionally, the obtained results underline the importance that students' use both verbal and graphical representations at the same time to express their ideas (Acher et al., 2006; Llombart & Catalán, 2015; Márquez, 2002). In agreement with the previous authors, the multimodal expression of the students' ideas help the learning process by materializing ideas so that they can be acted upon, for example, sharing with the students at the beginning their diverse ways to interpret the phenomena, or asking them for the comparison between their own initial and final representations and explanations. Additionally, the multimodal expression of children's ideas is also helpful for the designers, teachers, and researchers as a way to identify which are the main ideas, contradictions, and difficulties to overcome along the intervention.



## **7. An improvement in the students' ideas regarding the nature and structure of both clean and polluted air has been identified.**

The analysis of students' productions from a particulate model matter allowed us to identify an evolution in children's ideas related to both clean and polluted air when they imagine they could look inside of it (at meso/ sub-microscopic level). This analysis also showed us that some ideas, such as the view of air only at the macroscale, are easily overcome while others, such as the discontinuity of matter, remain in relevant proportions even in the final productions. In the following conclusions (conclusions 7.1. and, 7.2.) we explain in-depth the main students' ideas related to clean and polluted air.

The obtained results underlined, first, the effectiveness at level 3 of the TLS because there is high coherence between the design principles used, which were based on the previous science education research and the learning outcomes obtained in this research (Merino & Sanmartí, 2008).

This coherence between previous and current research could have some implications for the first DBR phase (initial theoretical grounding) specifically during the definition of the design principles, where previous literature is reviewed. According to the obtained results, design principles should be based not only in the same topic research, but also in investigations around the same model (particulate model matter in our case) although they focus on other phenomena.

### **7.1. Students' ideas related to clean air improve from a continuous and macroscopic view where clean air is considered a substance that is made only by one component (air or oxygen), to an idea of clean air as a semicontinuous and mesoscopic substance made by more than one component that are usually identified as different gases present in the natural Earth atmosphere (e.g., N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>).**

The analysis of the students' productions related to clean air when imagining we could look "inside of it" highlights the evolution of most of them. Results underline that at the beginning most children think of air as a continuous and macroscopic substance made only by one component (either chemical elements or compounds) that often is identified as air in a tautological way (e.g., "air is made by air"), or as oxygen. At the end of the TLS most of the students' productions include an idea of air as a semicontinuous and mesoscopic substance made by more than one component (chemical elements or compounds) that are usually identified as different gases presents in the natural Earth atmosphere such as nitrogen, oxygen...

Most of the identified ideas in both initial and final students' productions are in agreement with ideas previously highlighted in the literature (Driver et al., 1994; Moltó Palomares, 2022; Talanquer, 2020; Thornber et al., 1999). Some examples of these ideas are that students' identify in their initial productions clean air as a continuous substance (Driver et al., 1994; Moltó et al., 2021; Talanquer, 2020); the idea of air not as a mixture but as a unique substance usually called air tautologically, or the idea of clean air as a synonym of oxygen (Driver et al., 1994).

### **7.2. Students' ideas related to air pollution show a similar improvement, from a huge range of ideas related to the structure and nature of polluted air to a view of polluted air as a semicontinuous and mesoscopic substance made by**

**more than one component that are not often in the natural Earth atmosphere or as a change in those naturally present components.**

In the students' representations of air pollution, an evolution has also been observed. In this case, in the children's initial productions it has been identified a huge range of interpretations of the phenomena of air pollution that includes ideas of pollution as a continuous or semicontinuous substance and representations in different scales such as macro or mesoscale. Additionally, most of the students' initial production identified different gases (such as CO<sub>2</sub>, CFCs or Ozone) as the main air pollutants. The analysis of students' final productions showed us that most of them have overcome their initial ideas and represent air pollution as a semicontinuous and mesoscopic substance made by more than one component (chemical elements or compounds). Furthermore, in their final productions, students' usually think about atmospheric pollutants as something that emerges because they are not in the natural Earth atmosphere (e.g., soot, asphalt, threads...) or as a change on the concentration of something already in the atmosphere (e.g., more quantity of CO<sub>2</sub> in the air).

The analysis of the students' ideas highlights that most of the identified alternative ideas in both initial and final students' production have been reported in previous literature (Boyes et al., 2007; Iliopoulou, 2016; Mandrikas et al., 2017; Thornber et al., 1999). An example of these ideas are the identification of different gases such as CO<sub>2</sub>, CFCs or Ozone, which are actually related with other environmental problems (e.g., global warming, greenhouse effect or ozone layer degradation), as typical air pollutants in spite of the fact that they are not so for the professional science community (Boyes et al., 2007; Thornber et al., 1999).

**8. A target model for upper primary school related to the particulate model of matter should consider the role of the ideas of semicontinuity and mesoscale. As such, a suitable target model for clean and polluted air phenomena is based on students' construction of an initial idea of air and pollution as "particles" which are understood as granules or small parts of the substance with the same properties of the substance which are embedded in some continuous or semi continuous supporting material. The target model should necessarily differentiate between air pollution "particles" as something that could be seen with a magnifier (mesoscale) and clean air "particles" as something much smaller that could not be seen with it (sub-microscopic scale).**

From a learning progression framework to develop a sophisticated model of matter implies a progressive development of students' initial ideas (Corcoran et al., 2009; Scott et al., 2019; Vergara et al., 2020; Zabel & Gropengiesser, 2011). In this framework, students' alternative ideas that have been identified in both initial and final productions are not considered errors, but needed stepping stones for the construction of advanced ideas to be developed in the future (Campbell et al., 2016). Additionally, according to Rea-Ramirez (2008), the identification of the students' ideas about structure (continuity/ discontinuity and scale) and nature of clean and polluted air helped us to identify a target model empirically build for 10-12-year-old students that show to have a realistic chance for promoting understanding.

Regarding the continuity/discontinuity idea, the obtained results have pointed out an improvement in students' views of matter that ranges from a continuous idea of matter to a semi-continuous one, and which shows useful despite not including an idea of matter as discontinuous for neither clear nor polluted air. This allowed us to identify that in upper primary

school, students could develop an initial concept of “particles” as granules or small parts of a substance embedded in a continuous or semicontinuous substance. This means that 10-12-year-old students should not necessarily develop an idea of matter as a discontinuous, understanding particles as small parts with vacuum between them.

Focusing on the idea of scale, it has also been identified an improvement from an idea of clean and/or polluted air as material or substances that can be perceptible by the senses (e.g., seen with the naked eye) and closely connected to the human scale; to an idea of them as structures made by “particles” in terms of small parts of the substance with the same properties of the substance. Although often students continue using the mesoscale to represent clean air, the analysis of their explanations underline that some ideas related to the sub-microscopic scale should be considered by them. These results allowed us to identify that 10-12-year-old students can endeavour scale reasoning and think on the air pollution phenomenon in a mesoscale. Additionally, it has been identified the relevance to develop with upper primary school students an operationalized initial idea of the different scales that we use to talk about air pollution “particles” (e.g., dust, soot) or clean air “particles” (e.g., O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) for example by referring to the instruments that we can use or not to observe these particles (e.g., magnifiers).

The identified ideas used for the definition of the target model for clean and polluted air are in agreement with those of the authors that identify the semicontinuous and mesoscale as “stepping stones” for the construction of the structure of particulate model matter (Driver et al., 1994; Hadenfeldt et al., 2013; Meijer et al., 2013). As Acher et al. (2007); Merino & Sanmartí (2008) declare, although the idea of “particles” as granules or small parts of the substance is not the scientific consensus model, these ideas should be considered a target model for primary school students that act as an interesting middle step in the construction of a more complex and developed particle model of matter.

6.2.2.2. Conclusions and contributions related to the reliability of the TLS in terms of the development of students’ scientific practice of designing scientific research questions

---

**9. Students aged between 10- 12-year-old are capable of designing scientific research questions with a certain level of quality and improving them iteratively. However, this is a process that requires different activating teaching strategies such as the use of scaffolding tools and specific teachers’ feedforward.**

The obtained results highlighted that despite design of scientific research questions is a high-order cognitive skill (HOCS) (Ferrés-Gurt, 2017a; Lombard & Schneider, 2013; Zoller & Tsapalis, 1997), its development could be considered an objective in upper primary school. Specifically, the analysis showed us that for upper primary school students without any specific instruction, most of the students can design questions. However, specific teaching strategies such as the use of scaffolding tools and specific teachers’ feedforward are necessary for the improvement of the students’ practice of designing scientific research questions.

In agreement with previous authors (Chen et al., 2015; Couso, 2014; Puntambekar & Kolodner, 2005; Romero-Ariza, 2017) some important challenges have been identified in this thesis for the development of this practice. The main significant ones identified in this thesis are: (1) the inclusion of the independent variable as an explicit part of the question; (2) the inclusion of the control variables as an explicit part of the question; and (3) the formulation of experimental

questions, which are questions that ask for specific data about an entity, phenomena, or process in different specified moments, locations, or conditions to draw conclusions based on the obtained evidences from the inquiry or the empirical test.

**10. An improvement in the students' practice of designing scientific research questions in upper primary school has been identified, starting with questions completely related with the problem which only explicitly include the dependent variable (level 2 of the learning progression) and ending with experimental questions completely related with the problem which are plausible to be answered in a scholar context with the available instruments. These latter questions also include explicitly both the dependent and independent variables (level 4 of the learning progression).**

The co-occurrence analysis between categories from the three identified dimensions of researchability (relation with the problem, type of question and the "experimentality" of the question) helped us to identify and improvement in the students' practice of designing scientific research questions.

Concretely, the analysis of students' questions in three moments with different instructional characteristics showed us that at the beginning most of them design questions completely related with the main issue being investigated, which only explicitly include the dependent variable and which in most of the cases are not plausible to be carried out in a scholar context (level 2 out of 5 in the learning progression). The analysis of the final questions showed us an important improvement in terms of researchability of the question, which includes experimental questions completely related with the main problem and plausible enough to be carried out in a scholar context. Additionally, in final questions, students also include both dependent and independent variables (level 4 out of 5 in the learning progression). However, most of the designed questions at the end do not include the control variables.

The obtained results strengthen the idea that upper primary school students, provided they have appropriate scaffoldings, can design experimental, plausible scientific research questions which include both dependent and independent variables. In this sense, educational efforts and scaffolding in upper primary seems should focus on helping students in three aspects: (1) the identification that the main purpose of the research question is to collect/obtain specific data about a particular aspect of the phenomena and consequently to think on descriptive or experimental questions; (2) the explicit expression of what they want to measure (dependent variable) and what they want to change in the different chosen scenarios (independent variable); and (3) the design of plausible questions which implies the identification of specific instruments and strategies that can be used in the school context.

However, in agreement with the existing literature, the analysis has pointed out the control variables as an important difficulty for the children even when specific scaffoldings are used (Kuhn & Dean, 2005). Moreover, imprecisions or omissions of significant aspects related to the context (e.g., which kind of pollution they want to measure) have been identified in the students' final questions. These results underline the importance of the iterative development of this practice during the school years (Ferrés-Gurt, 2017a).

## **11. Well-designed scaffolding tools and specific teachers' feedforward have shown to have a significant impact on the improvement of the students' practice of designing scientific research questions along the TLS.**

The observed evolution of students' practice of designing scientific research questions along the TLS strengthens the importance of the teaching strategies used, but also identifies some differences in their impact on the students' practice.

Concretely, at the beginning (M1) we asked students for their individual and non-scaffolded investigable questions. After that, we collected the students' designs in two more moments: in M2 after working in groups using a scaffolding tool specifically designed with this purpose, the PaPER tool (Tena & Couso, 2020); and in M3 after working in groups with a specific teacher's feedforward. In this sense, three different teaching strategies have been used to help students to overcome the difficulties identified in their initial and individual questions: working in groups, the use of a specific scaffolding tool (PaPER), and the teachers' feedforward.

Although some authors have pointed out that working in groups and the feedback received for their own colleagues have an important impact on the students' improvement of research skills (Chin & Osborne, 2010), in this research we focus on the impact of those strategies that implies an active teacher role (the design of specific tools to help them, and the use of an adjusted feedforward). This is because in agreement with previous research, those inquiries where teachers have an active role have a better impact in the students' learning (Furtak et al., 2012; Romero-Ariza, 2017).

### **11.1. Well-designed and tested scaffolding tools that promote self- and peer-assessment among students help them to improve their own scientific research questions, particularly in terms of the explicit inclusion of the independent variable, the experimental character of designed questions and the plausibility of them.**

A specific cognitive scaffolding tool (PaPER) developed within this research but based on previous literature (Márquez et al., 2003; Palmer, 1995) has been used to help students to improve their scientific research questions.

The use of this scaffolding tool and working in groups have been pointed out to improve students' questions. In this sense in M1, results show us that 13% of the students' questions are not related to the main problem (air pollution in their school) and they do not include any variable explicitly; 21% design questions are related to the problem but without including variables; and 41% design questions related to the problem but only including the dependent variable. After working in groups and using the PaPER tool, all the students' questions include at least a dependent variable and most of them (69%) includes the independent variable too. Additionally, more than a half (54%) of the second designed questions are experimental and concrete enough to be carried out in a scholar context and with the available instruments.

These results strengthen the importance that previous research give to well-designed and empirically proved cognitive scaffolding tools to help students to overcome some of their difficulties such as the identification of variables (Chen et al., 2015; De Joolingen & Zacharia, 2009; Puntambekar & Kolodner, 2005; Romero Ariza et al., 2020). Additionally, the analysis also underlined the potential of the cognitive scaffoldings to help students to overcome some identified problems in the literature (De Joolingen & Zacharia, 2009).



**11.2. Intentional, explicit, and active teachers' feedforward should be considered a key strategy for the improvement of students' process of designing scientific research questions, especially to help students overcome demanding aspects such as control variables.**

The analysis of students' productions after an intentional, explicit, and active teachers' feedforward showed us an improvement in their scientific research question. In this sense, the analysis underlined the consolidation of some aspects, such as the explicitness of independent variables or the importance of designing plausible questions that have been identified as problematic in the students' first questions. Furthermore, results also highlight that only after teachers' feedforward students' are able to include some aspects in their scientific research questions such as explicitly control variables.

These results agree with previous research that identifies the active teacher as a key aspect to help students to improve their scientific research questions and consequently, to develop their scientific practice (Chin & Osborne, 2008; Couso, 2014; Furtak et al., 2012; Romero-Ariza, 2017). However, a deeper analysis is needed about what specific teachers' questions or explanations help students to improve their research questions.

### **6.3.BLOCK 3: CONCLUSIONS RELATED TO THE: EDUCATIONAL OUTPUTS AND RESEARCH IMPLICATIONS OF THE EVALUATION OF QUALITY OF A TLS WITHIN A DBR PARADIGM**

**12. Understanding the quality of a TLS in terms of validity, usefulness, and reliability including criteria such as practicality, productivity and effectiveness at levels 2 and 3 promotes the development not only of research and evidence-based TLS but also of educational tools and contributions to both design principles and tools.**

The use of the theoretical and methodological framework for the evaluation of the four different prototypes of a TLS in terms of validity, usefulness, and reliability promotes the obtention of a final high-quality TLS around the clean and polluted air phenomena for 10-12-year-old students that promotes the construction of relevant cognitive, procedural, and epistemic knowledge. Additionally, the analysis of the aforementioned quality dimensions and specially the practicality, productivity, and effectiveness at level 2 and 3 allowed us to obtain relevant outputs and important implications for the educational tools, design tools, and design principles.

In this sense, for example, related to the educational tools both a scaffolding tool to help students to improve their designs of scientific research questions; and a learning progression about how this practice improves have been obtained along this piece of research.

The process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of a TLS has also produced some other outputs that can be understood as something in between a contribution to design principles and the actual design tools. Examples of these are the ideas of the 10-12-year-old students about structure and nature of the particulate model of matter, the identification of a target model of particulate model of matter for the upper primary students, or the dimensions and categories that should be taken into consideration to both evaluate and improve the "researchability" of a question.

On the other hand, the analysis of the effectiveness at level 3 that focus on the relation between the obtained students' learning outcomes with both the design principles and tools also highlight the appropriateness of some already known design tools such as modelling and inquiry cycle, or the importance to identify the key ideas for the process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining. In the following paragraph of the conclusions, we explain in-depth the main aspects related with the highlighted outputs of the thesis.

**12.1. The process of planning, planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of the teaching and learning sequence (TLS) from prototype 1 to prototype 4 has produced concrete educational tools of proven quality.**

In agreement with the DBR paradigm (DBR Collective, 2003) the process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of this thesis has also been oriented to produce concrete educational tools. Specifically, in this thesis, two educational tools have been developed: the PaPER scaffolding tool and a learning progression of the practice of design scientific researchable questions of 10-12-year-old students.

Both developed educational tools have the potential to be used in other educational contexts. However, more research about how to do that to obtain the best results is needed.

**12.1.1. The process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of a TLS produces a cognitive scaffolding tool named (PaPER) which oriented students in the process of designing and carrying out semi-open investigations.**

The PaPER tool is an education tool designed to guide 10-12-year-old students in the process of designing and carrying out semi-open experimental investigations. This tool is based on previous literature (Márquez et al., 2003; Palmer, 1995) and it is considered a cognitive scaffolding (De Joolingen & Zacharia; 2009) because of their identification and structuration of the different parts of the process of planning and carrying out scientific research.

Specifically, PaPER differentiates four key moments in experimental investigations: planning, prediction, experimentation, and results. These moments have a certain relationship with some inquiry phases identified in Pedaste et al. (2015). Furthermore, for each of the four moments have also been identified different tasks that are included on them as a question (e.g., What we want to investigate? Which materials are we going to need? How are we going to do the research?). Additionally, some other questions and information to promote the students' self- and peer- assessment related to the different tasks are also included on PaPER. For example, for the key moment of planning, and related to the task of planning their investigation (How are we going to do the research?) different questions related to the inclusion of dependent and independent variables are included (e.g. do you want to measure something?, what would you need to change?).

As a part of this thesis, we have only included the analysis and results related to those part of the PaPER tool focused on the design of research questions by students (e.g. What we want to investigate?). However, some promisingly results have been identified from a preliminary analysis of other parts of the PaPER tool, such as the process of planning their investigation. For this reason, further investigations about the use of PaPER tool are planned.

**12.1.2. The process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of a TLS produces a learning progression of the students' practice to design researchable questions.**

The analysis of the students' designed questions in terms of "researchability" in three different moments of the instruction allowed us to identify an empirical learning progression of the students' practice.

Concretely, six different levels of sophistication (0-5) related to students' practice of designing scientific research questions about the air pollution phenomena in their schools have been identified empirically. Level 0 includes those questions that are not really related with the main research problem, and which do not include any variable, nor dependent neither independent or control variables. Level 5, the highest one, includes all the characteristic of a scientific research question as defined in this thesis: they are experimental questions, completely related with the main problem, that includes explicitly the most relevant variables (dependent, independent, and control in our case). They are a concrete and plausible enough to be carried out in a scholar context and with the available research instruments.

Each of the levels between 0 and 5 should be considered a stepping stone in the students' learning progression of the practice of designing scientific research questions. Between each of them, it has also been identified which are the main barrier that students need to overcome to improve their ability regarding this scientific practice. For example, between level 1 and 2 the main barrier to overcome is the inclusion of variables, and specifically the dependent variable as an explicit part of the question.

The use of the levels of sophistication of the empirically built learning progression could be helpful in future science education research and practice for both the design of adequate activities that are focused on progressively overcoming the identified barriers and to analyse students' designs of research questions in a given moment of their learning process.

**12.2. The process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining that has been followed generally produces other constructs that can be understood as something in between contributions to design principles and actual design tools.**

Different contributions to the design principles and actual design tools have been because of the process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of a TLS in terms of quality evaluation. Two of the most important ones are, on the one hand, the definition of a target model of the clean and polluted air for 10-12-year-old students; and, on the other hand, the identification of the dimension and categories of the "researchability" of a scientific question at primary school level.

These can be understood as something in between contributions to design principles and actual design tools because they contribute to both: theoretical ideas related to educative frameworks and their operationalization produces concrete design tools. For this reason, in future research, it could be interesting to explore the operationalization of these ideas of the target model and "researchability" by embedding them in particular design or educational tools.

**12.2.1. The process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining that has been followed produces an evidence-based**

### **target model and identifies different stepping stones related to the modelling of clean and polluted air.**

As it has been pointed out in previous conclusions of this thesis (see conclusion 8 [-link-](#)) a target model for upper primary school students related to both clean and polluted air phenomena have been defined. For that, two main ideas have been identified as the most important ones: the idea of semicontinuity of matter and the idea of phenomena in the mesoscale. Additionally, some stepping stones related to the students' construction of the "particle" idea have been found as a part of this thesis.

The identified ideas could contribute to an enlarge definition of one of the key models in science education (Marzábal et al., 2021): the particulate model of matter and, especially, to the construction of an empirical and theoretically based learning progression that starts in primary school and is suitable to relevant current phenomena such as pollution. Specially underlying the relevance of the mesoscale and the semicontinuity ideas as important aspects to consider in this model strengthens what previous research has already pointed out (Meijer et al., 2013; Solé et al., 2020; Talanquer, 2020). In agreement with Karata et al. (2013), the identification of both the target model for a specific age-group and the steppingstones these students used along their learning could also be helpful for the design of other TLS related to the particulate model of matter.

#### **12.2.2. The process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining that has been followed allows for the identification of the "researchability" dimensions of a student research question**

This has also contributed to the identification and definition of the main aspects related to the "researchability" of school scientific questions. In this sense, three dimensions have been identified: (1) the focus of the question, based on the relation between the phenomena and the designed question; (2) the type of question, related to the claim of the question; (3) the experimentality of the question, related to the concretization and plausibility of the question to be carried out in a school context. Within this last dimension, two sub-dimensions have been identified: (a) the empirical nature, related with the presence or absence of observable or measurable variables and, (b) the plausibility, related with the possibility to answer the question in a school context and with school instruments. Additionally, based on both inductive and deductive processes, different categories have been defined for each of the previous dimensions.

The definition of the "researchability" of the questions in concrete dimensions and categories could be useful for both to analyse the students' scientific research questions and to help them to improve their designed questions.

#### **12.3. Some design principles and design tools already well-known in the literature have shown helpful in the process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining of a TLS with quality, and as such, their value within Science Education is reinforced.**

The analysis of the TLS reliability in terms of effectiveness level 2 and 3 focus on the students' improvement of conceptual learning and procedural/epistemic practices contribute to the identification of the quality of the already known idea of educational reconstruction for the

reconstruction of the key ideas and the modelling and inquiry cycles as suitable and fruitful design tools.

### **12.3.1. The process of educational reconstruction has shown helpful for both the definition of the key ideas and the target model of the TLS**

The model of Educational Reconstruction (Duit, 2007) has been highlighted as helpful for the definition of key ideas and the target model of clean and polluted air for 10-12-year-old students. Following the above-mentioned model, on the one hand, it has been identified the current professional science knowledge related to air pollution (e.g., the idea of particulate matter -PM- and specifically the black carbon particles as one of the most relevant pollutants in big cities) (Basagaña, 2018; Gignac, 2021) And, on the other hand, it has been identified those relevant ideas from the previous literature in science education about model matter and pollution phenomena that could be essential to consider in the TLS (e.g., the relevance of considering different scales -macroscale, mesoscale and sub-microscopic scale – in the interpretation of air pollution phenomena underlined in Solé et al. (2020) and Meijer et al. (2013).

The promising results obtained from the use of the Educational Reconstruction process (Duit, 2007) highlights the relevance that this design model has for the definition of key ideas and target models in science education (Couso, 2011), especially in case of emerging topics such as the air pollution one.

### **12.3.2. The modelling and inquiry cycles have been identified as helpful tools for the process of designing a TLS**

The observed evolution in both students' conceptual ideas about clean and polluted air and the procedural/epistemic practice of designing scientific research questions contributes to the reliability of the modelling cycle (Couso, 2020) and the Inquiry cycle (Jiménez-Liso, 2020) as useful and fruitful design tools in science education from a scientific practice perspective.

The modelling cycle helped us to design and organize different modelling processes such as the expression, evaluation, and review of the students' model along the TLS in a way that helped children in the process of improving their own ideas about the studied phenomena from their initial views towards ideas closer to the scientific ones, and doing so, while participating in authentic research practices. Similarly, the inquiry cycle has shown helpful to involve students in procedural/epistemic practices such as the design of scientific research questions while participating in authentic research.

However, the development of both conceptual learning and procedural/epistemic practices at the same time required a new approach where a certain overlapping between the two mentioned cycles have been necessary. An integrated proposal of cycles has been used in this research. On this proposal, the phases of the inquiry cycle (e.g., develop a design, collecting and expressing data, searching for evidence and obtaining conclusions) are used for the modelling phase of testing empirically the model (phase 3 of the modelling cycle). This integrated modelling and inquiry cycle seems to be effective for the achievement of both conceptual and procedural/epistemic practices aimed in the designed TLS, and could be a specific proposal to guide Model-Based Inquiry teaching and learning. Nevertheless, more research about this possible fusion of both cycles is needed.



**12.4. The final version of the teaching and learning sequence (TLS) (Prototype 4), which has been obtained as a result of a detailed quality evaluation process, has shown to be a helpful educational tool for the improvement of both: students' ideas related to the structure and nature of the particle model of matter, and the practice of designing scientific research questions. As such, this TLS can be considered of quality regarding these concrete learning objectives.**

The main outputs obtained after the process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining is a final teaching and learning sequence (TLS) for 10-12-year-old students in the context of clean and polluted air phenomena that are both research-based and evidence-based.

In this sense, the TLS is based on already known design principles, for example, the Scientific Practices framework (Crujeiras y Jiménez-Aleixandre, 2012; NRC, 2012; Osborne, 2014) and its local ACE version (Izquierdo, et al., 1999) and their operationalization in the form of design tools such as the modelling and inquiry cycle (Couso, 2020; Jimenez-Liso, 2020); or the Context-based-Learning approach (Jiménez-Liso & de Manuel Torres, 2009a; Lupión-Cobos et al., 2017; Lijnse, 2005) and the importance that the context are both socially and scientifically relevant (Evagorou et al. 2012; Kortland, 2007), between others.

The final TLS (prototype 4) has been obtained after an iterative process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining using the provided theoretical and methodological framework. The evaluation of the quality of different prototypes in terms of validity, usability, and reliability helped us to identify the key aspects of the TLS and those aspects that are necessary to improve. For example, the improvement of coherence between objectives and activities, or changes in the activities that had been identified as relevant after the on-the-go analysis of the TLS, among others. The evaluation in terms of their validity, usability, and reliability and the changes derived from the assessment allowed us to obtain an evidence-based TLS.

In this thesis, the process of planning, designing, implementing, evaluating, and redesigning/refining has been transparently documented and adequately justified with an example of the evaluation of the quality of a TLS in real contexts by using the provided theoretical and methodological framework. In this sense, the research has contributed with a rich example of how to evaluate TLSs in a chronological, sequenced, and accumulative way that respects the logical hierarchy between the different quality dimensions of validity, reliability, and usefulness. This example can be used by other researchers and also illuminate future context-adapted versions

## **6.4. LIMITATIONS AND FUTURE RESEARCH QUESTIONS**

Along the different published papers and conclusions of this thesis, it has been pointed out some limitations related to the different studies done. Also, additional research questions related to this thesis that could be addressed in the future. In the following paragraphs, we identify the most relevant limitations of this thesis and highlight some future research questions related to them.

First, although the theoretical and methodological framework for the quality evaluation of TLS in the DBR paradigm presented and used in this research have allowed to obtain a both research-based (Hernández Rodríguez, 2018; Millar et al., 2002; Plomp & Nieveen, 2013) and evidence-based outcome, more research and agreement regarding what is quality regarding a TLS is needed in the field. As we pointed out, the presented framework is helpful to overcome the idea that a TLS design is good enough if it is implemented and sufficiently iteratively refined in practice, highlighting the importance in the DBR paradigm of making explicit what idea of quality is hold and how quality will be tested and ensured. However, we agree that more in-deep discussions within the science education community about which dimensions, criteria, and definitions of quality for the evaluation of TLS in DBR is needed. In this sense, the provided framework should be considered just a starting point for future discussions about how to evaluate the quality of TLSs in the DBR paradigm. Additionally, we agree that even if the framework is considered adequate, it is necessary to test it in other situations and contexts to identify how generalizable and useful it is, taking into consideration how it works for the evaluation of TLS about other phenomena, models or school-contexts.

Second, as a part of this research has been evaluated both: 1) the conceptual evolution of students' ideas related to clean and polluted air, and 2) the procedural/epistemic evolution of the students' practice of designing scientific research questions. However, is has not been analysed in this research the intersection between the two, for example, analysing if high-level ideas of clean and polluted air also imply a high-level of sophistication in the practice of designing scientific research questions. In this sense, a deeper analysis of the relation between conceptual, procedural, and epistemic knowledge should be the focus of future research by the authors and others. This idea follows some recent publications in science education that explicitly focus on the intersection between scientific practices (Evagorou, Nicolaou, et al., 2020; Rut Jiménez-Liso et al., 2021).

On the other hand, as it has been pointed out, in this study we have obtained good results with the use of both the modelling and inquiry cycles (Couso, 2020; Jiménez-Liso, 2020) as design tools, which in our view it contributes to the ongoing validation of both cycles. Specifically, as it has also been highlighted in this research, a concrete combination of both has been used. Despite the promising obtained results we do not analyse in detail how the use of both cycles in an overlapping way contributes to the development of the students' ideas and practices (e.g., how it contributes to the students' evolution of their ideas on the particulate model matter the fact of being involved in the expression of their initial model -phase 2 of the modelling cycle-), and the contribution of one cycle to the engagement in the other one (e.g., how engaging students in the expression and justification of their own ideas, provide criteria for validation of the ideas and compare real data with personal ideas -phases 2, 3 and 4 of the inquiry cycle-could help students in the evaluation of their model -Phase 3 modelling cycle-). For this reason, a deeper analysis of what scientific practices actually help students in the development of their ideas and practices and the relation established between both cycles should be further explored in future research, similarly as Garrido Espeja (2016) and Evagorou et al. (2020) already stated in their work.

Finally, the obtained results highlight the relevance of both scaffolding strategies, that of teachers' feedforward and the use of the PaPER tool, for supporting children to go forward in their practice of designing scientific researchable questions. Nevertheless, it is necessary a deeper analysis of which specific strategies (e.g., what questions, which focused explanations...) used by teachers or identified in the tool are more effective to help students to overcome their

difficulties. This aspect remains pending in research and could be very useful to understand why and how children were picking up on particular ideas of the model or level of the practices and no others. Research of Joglar & Rojas (2019), Chin & Osborne (2008) and Machado & Sasseron (2012) should become an inspiration for further work in this line.

**SECCIÓ**

**7**

**BIBLIOGRAFIA**



## 7

## BIBLIOGRAFIA

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, *88*(3), 397–419. <https://doi.org/10.1002/sce.10118>
- Abril Gallego, A. M., Romero Ariza, M., Quesada Armenteros, A., & García, F. J. (2014). Creencias del profesorado en ejercicio y en formación sobre el aprendizaje por investigación. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, *11*(1), 22–33. [https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2014.v11.i1.04](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2014.v11.i1.04)
- Acher, A., Arcà, M., & Sanmartí, N. (2007). Modelling as a Teacher Learning Process for Understanding Materials: A Case Study in Primary Education. *Science Education*, *91*(1), 398–418. <https://doi.org/10.1002/sce>
- Aché, A., Arcà, M., & Sanmartí, N. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, *90*, 1073–1091.
- Adbo, K., & Taber, K. S. (2009). Learners' mental models of the particle nature of matter: A study of 16-year-old swedish science students. *International Journal of Science Education*, *31*(6), 757–786. <https://doi.org/10.1080/09500690701799383>
- Adúriz-Bravo, A. (2021). Multirreferencia en la indagación científica escolar [conferencia]. *Seminario Internacional: Integrated Teaching in Specific Didactics*. Burgos, España.
- Adúriz-Bravo, A., & Izquierdo, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electronica de Investigacion En Educacion En Ciencias*, *4*(Especial), 40–49. <http://www.scielo.org.ar/pdf/reiec/nesp/nspa04.pdf>
- Aguilera Morales, D., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruiz-Delgado, Á., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M., & Perales-Palacios, F. J. (2018). Inquiry-based science education. A systematic review of spanish production. *Revista de Educacion*, *2018*(381). <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388>
- Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science*, *333*(6046), 1096–1097. <https://doi.org/10.1126/science.1204153>
- Ametller, J., Leach, J., & Scott, P. (2007). Using perspectives on subject learning to inform the design of subject teaching: An example from science education. *Curriculum Journal*, *18*(4), 479–492. <https://doi.org/10.1080/09585170701687928>
- Anderson, R. D. (2002). Reforming Science Teaching: What Research Says Anout Inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, *13*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1023/A>
- Archer, L., Osborne, J., DeWitt, J., Dillon, J., Wong, B., & Willis, B. (2013). *ASPIRES. Young people's science and career aspirations, age 10–14*. King's College, London.
- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches En Didactique Des Mathématiques*, *9*(3), 281–308.
- Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: From dewey to standards. *Journal of Science*



*Teacher Education*, 17(3), 265–278. <https://doi.org/10.1007/s10972-006-9008-5>

- Basagaña, X. (2018). Els efectes de la contaminació en les persones: què en sabem i de què busquem evidències? *Revista Ciències*, 35, 28–34. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencias.392>
- Bell, P., Bricker, L., Tzou, C., Lee, T., & Van Horne, K. (2012). Engaging learners in obtaining, evaluating, and communicating information. *Science and Children*, 50(November), 11–16. [http://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-2012-assessment-and-analytical-framework/science-framework\\_9789264190511-5-en](http://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-2012-assessment-and-analytical-framework/science-framework_9789264190511-5-en)
- Bell, T., Urhahne, D., Schanze, S., & Ploetzner, R. (2010). Collaborative inquiry learning: Models, tools, and challenges. *International Journal of Science Education*, 32(3), 349–377. <https://doi.org/10.1080/09500690802582241>
- Biesta, G. (2007). Bridging the gap between educational research and educational practice: The need for critical distance. *Educational Research and Evaluation*, 13(3), 295–301. <https://doi.org/10.1080/13803610701640227>
- Blanco, A., & Prieto Ruz, T. (1996). Algunas cuestiones sobre la comprensión de la Química desde la perspectiva de las " ideas de los alumnos ". *Investigación Educativa*, 28, 69–78.
- Blanco, 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>
- Blessing, L. T. ., & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a Design Research Methodology*. Springer.
- 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>
- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1997). The environmental impact of cars: Children's ideas and reasoning. *Environmental Education Research*, 3(3), 269–282. <https://doi.org/10.1080/1350462970030302>
- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1998). Children's ideas about cars and health: An environmental motivator? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 3(2), 105–115. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00031-X](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00031-X)
- Bransford, J. D., Brown, A. L., Cocking, R. R., Donovan, M. S., & Pellegrino, J. W. (2000). *How people learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition*. National Academies Press.
- Broekkamp, H., & Van Hout-Wolters, B. (2007). The gap between educational research and practice: A literature review, symposium, and questionnaire. *Educational Research and Evaluation*, 13(3), 203–220. <https://doi.org/10.1080/13803610701626127>
- Brownell, S. E., Wenderoth, M. P., Theobald, R., Okoroafor, N., Koval, M., Freeman, S., Walcher-Chevillet, C. L., & Crowe, A. J. (2014). How students think about experimental design: Novel conceptions revealed by in-class activities. *BioScience*, 64(2), 125–137. <https://doi.org/10.1093/biosci/bit016>
- Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J. (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>
- Bybee, R. W. (2002). *Learning science and the science of learning* (Press, NST).

- Bybee, R. W. (2011). Scientific and Engineering Practices in K-12 Classrooms. Understanding a framework for K-12 Science Education. *Science Teacher*, 78(1), 34–40. <https://doi.org/10.4018/978-1-59904-597-9.ch013>
- Campbell, T., Schwarz, C. V., & Windschitl, M. (2016). What We Call Misconceptions may be necessary stepping-stones toward making sense of world. *Science & Children*, March. <https://doi.org/10.2505/4/sc16>
- Campbell, T., Zhang, D., & Neilson, D. (2010). Model Based Inquiry in the High School Physics Classroom: An Exploratory Study of Implementation and Outcomes. *Journal of Science Education and Technology*, 20(3), 258–269. <https://doi.org/10.1007/s10956-010-9251-6>
- Castillo-Hernández, F. J. (2022). *Análisis de secuencias de enseñanza y aprendizaje sobre el fenómeno de flotación en el marco de la investigación de diseño*. [Tesis doctoral]. Universidad de Almería.
- Castillo-Hernández, F. J., Jiménez-Liso, M. R., & Couso, D. (2022). Can we do real inquiry online? Influence of real-time data collection on students' views of inquiry in an online , multi-site masters' degree on environmental education. *Journal of Computing in Higher Education*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12528-022-09312-7>
- Castillo Hernández, F. J., Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., & López-Gay Lucio-Villegas, R. (2020). ¿Cuáles son los ingredientes imprescindibles para indagar en el aula? *Aula de Innovación Educativa*, 298(Octubre), 26–30.
- Chen, S., Tseng, C., & Chang, W.-H. (2015). Generatubg Testable Questions in the Science Classroom : The BDC Model. *American Biology Teacher*, 77(3), 166–169. <https://doi.org/10.1525/abt.2015.77.3.3>
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Children's acquisition of the control of variables strategy. *Child Development*, 70(5), 1098–1120.
- Chin, C., & Osborne, J. (2008). Students' questions: A potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1–39. <https://doi.org/10.1080/03057260701828101>
- Chin, C., & Osborne, J. (2010). Students' Questions and Discursive Interaction : Their Impact on Argumentation During Collaborative Group Discussions in Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 883–908. <https://doi.org/10.1002/tea.20385>
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9). <https://doi.org/10.1080/095006900416901>
- 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>
- Cobo-Huesa, C., Abril, A. M., & R. Ariza, M. (2021). Investigación basada en el diseño en la formación inicial de docentes para una enseñanza integrada de la naturaleza de la ciencia y el pensamiento crítico. *Revista Eureka*, 18(3), 617–627. <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research methods in Education*. Routledge, London and New York.
- Constantinou, C. P. (2010). *Materials Science Project Publishable Final Activity Report* (Issue January).

- Corcoran, T., Mosher, F. A., & Rogat, A. (2009). Learning Progressions in Science. An evidence-based Approach to Reform. *Consortium for Policy Research in Education*, 86.
- Couso, D. (2011). Las secuencias didácticas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias: modelos para su diseño y validación. In *Didáctica de la Física y la Química* (Vol. 2, pp. 103–111).
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *XXVI EDCE*. <http://uhu.es/26edce/actas/>
- Couso, D. (2015). La clau de tot plegat : la importància de “ què ” ensenyar a l’ aula de ciències. *Ciències*, 29, 29–36. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.56>
- Couso, D. (2016). Participatory approaches to curriculum design from a design research perspective. In *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_4)
- Couso, D. (2017). Por qué estamos en STEM? Un intento de definir la alfabetización STEM para todo el mundo y con valores. *Revista Ciències*, 34, 22. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.404>
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. In *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 63–74).
- Couso, D., & Adúriz-Bravo, A. (2016). La enseñanza del diseño de unidades didácticas competenciales en la profesionalización del profesorado de ciencias. In *Conocimiento y emociones del profesorado* (pp. 266–283).
- Couso, D., & Garrido-Espeja, A. (2017). Models and Modelling in Pre-service Teacher Education: Why We Need Both. In *Cognitive and Affective Aspects in Science Education* (Vol. 3, pp. 245–261). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58685-4>
- Couso, D., Garrido-Espeja, A., & Hernández, M. I. (2021). Modelizar para enseñar y aprender ciencias. *XI Congreso Internacional En Investigación En Didáctica de Las Ciencias*, 1467–1470. Lisboa, Portugal.
- Couso, D., Jiménez-Liso, R., Refojo, C., & Sacristán, J. A. (2020). *Enseñando ciencia con ciencia*. <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Couso, D., & Puig, B. (2021). Educación científica en tiempos de pandemia. *Alambique*, 49, 49–56. <https://www.grao.com/es/producto/educacion-cientifica-en-tiempos-de-pandemia-al104100257> (revisado el 16/09/2022)
- Couso, D., & Grimalt Álvaro, C. (2019). STEM is for you. Experiencies in raising self-efficacy from the STEAM4U project. In D. Couso Lagarón & C. Grimalt-Álvaro (Eds.), *Servei de Publicacions. Universitat Autònoma de Barcelona*. [https://ddd.uab.cat/pub/l1ibres/2019/206832/steforyou\\_a2019iENG.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/l1ibres/2019/206832/steforyou_a2019iENG.pdf)
- Crujeiras-Pérez, B., & Cambreiro, F. (2018). Una experiencia de indagación cooperativa para aprender ciencias en educación secundaria participando en las prácticas científicas. *Revista Eureka*, 15(1), 617–627. <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Crujeiras, B. (2014). *Competencias e prácticas científicas no laboratorio de química: Participación do alumnado de secundaria na indagación*. [Tesis Doctoral]. Universidad de Santiago de Compostela.
- Crujeiras, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas. *Alambique*, 72, 12–19.

- Crujeiras Pérez, B., & Jiménez Aleixandre, M. (2012). Competencia como aplicación de conocimientos científicos en el laboratorio: ¿cómo evitar que se oscurezcan las manzanas? *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 70, 19–26.
- Cruz-Guzmán, M., García-Carmona, A. y Criado, A. (2017). Preguntas De Indagación Y En El Diseño De Actividades Experimentales: Predilecciones d ellos estudiantes de profesorado de infantil. *Enseñanza de las Ciencias, Extra*, pp.3963–3968. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/337593/428408>
- D’Costa, A. R., & Schlueter, M. A. (2013). Scaffolded instruction improves student understanding of the scientific method & experimental design. *American Biology Teacher*, 75(1), 18–28. <https://doi.org/10.1525/abt.2013.75.1.6>
- DBR Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>
- De Joolingen, W. R., & Zacharia, Z. C. (2009). Developments in inquiry learning. In *Technology-Enhanced Learning: Principles and Products* (pp. 1–323). <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9827-7>
- 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. (2014). Indagación en el aula mediante actividades manipulativas y mediadas por ordenador. *Alambique: Didactica de Las Ciencias Experimentales*, 76, 17–27.
- Domènech, J. (2018). Comprender, Decidir y actuar: una propuesta-marco de Competencia Científica para la Ciudadanía. *Revista Eureka*, 15(1), 103–115. <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Domènech-Casal, J. (2019). Apuntes lingüísticos para el tránsito a la competencia científica: Leer para indagar en el aula de ciencias. *Didacticae*, 5, 85–98. <https://doi.org/10.1344/did.2019.5.85-98>
- Domènech Casal, J. (2019). *Aprenentatge basat en projectes, treballs pràctics i controvèrsies : 28 propostes i reflexions per ensenyar ciències* (Primera ed). Associació de Mestre Rosa Sensat, Barcelona, Espanya.
- Domènech, J. (2021). Resignificación STEM y Escuela. Escenas ABP desde el itinerario minerva. *Boletín Ciencia Tecnología y Sociedad*, 15, 57–65.
- Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 4(1), 3–15. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5184>
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young People’s Images of Science*. Open University Press, Buckingham, Philadelphia, EEUU.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). Part III: Materials and their properties. In *Making sense of secondary science: Research into children’s ideas* (pp. 137–229).
- Duit, R. (1993). Reserach on students’ conceptions. Developments and trends. *Third Misconceptions Seminar Proceedings*.

- Duit, R. (2007). Internationally : Domains of Research. *Education in Chemistry*, 3(1), 3–15.
- Duschl, R. A., & Bybee, R. W. (2014). Planning and carrying out investigations: an entry to learning and to teacher professional development around NGSS science and engineering practices. *International Journal of STEM Education*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s40594-014-0012-6>
- Duschl, R. A., & Grandy, R. (2013). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science and Education*, 22(9), 2109–2139. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- Duschl, R. A., & Grandy, R. E. (2008). *Teachng Scientific Inquiry. Recommendations for Research and Implementatio*. Sense Publishers.
- Duschl, R. A., Maeng, S., & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123–182. <https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476>
- Erduran, S. (2020). Science Education in the Era of a Pandemic: How Can History, Philosophy and Sociology of Science Contribute to Education for Understanding and Solving the Covid-19 Crisis? *Science and Education*, 29(2), 233–235. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00122-w>
- Erduran, S., & Evagorou, M. (2012). Visualizing' Evidence and Scientific Methods, and Implications for Science Education. *NARST Annual Conference*.
- Escalas, T.; Ruiz, I.; Zorrilla, J. (2009). *El científic dibuixat*. Observatori de la difusió de la Ciència, UAB. Barcelona, Espanya.
- Evagorou, M., Nicolaou, C., & Lymbouridou, C. (2020). Modelling and Argumentation with Elementary School Students. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 20(1), 58–73. <https://doi.org/10.1007/s42330-020-00076-9>
- Evagorou, M., Nielsen, J. A., & Dillon, J. (2020). *Science Teacher Education for Responsible Citizenship*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-40229-7>
- Fernandez, C., & Yoshida, M. (2004). *Lesson study: A Japanese approach to improving mathematics teaching and learning*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Ferrés-Gurt, C. (2017a). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 14(2), 410–426. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2017.v14.i2.09](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.09)
- Ferrés-Gurt, C. (2017b). *La competència d'Indagació i la seva avaluació en els estudiants de Batxillerat*. [Tesi doctoral]. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Ferrés-Gurt, C., Marbà, A., & Sanmartí, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Eureka*, 12(1), 22–37.
- Ferrés Gurt, C. (2017). *La competència d'indagació i las seva avaluació en els estudiants de batxillerat* [UAB]. <https://ddd.uab.cat/record/188406?ln=ca>
- Franklin, I. A., & Ballan, L. L. E. (2005). Reliability and Validity in qualitative research. In R. M. Grinnell & Y. A. Unrau (Eds.), *Social work: Research and evaluation. Quantitative and qualitative approaches* (7th ed., pp. 438–449). Oxford Press.
- Furió-Mas, C., Solbes, J., & Carrascosa, J. (2006). Las ideas alternativas sobre conceptos científicos: tres décadas de investigación. Resultados y perspectivas. *Alambique*, 48, 64–

78.

- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>
- García González, S. M., & Furman, M. G. (2014). Categorización de preguntas formuladas antes y después de la enseñanza por indagación. *Praxis & Saber*, 5(10), 75. <https://doi.org/10.19053/22160159.3023>
- Garrido-Espeja, A., & Couso, D. (2017). La construcción del modelo materia en al formaicón inicial de maestros: Análisis desde la perspectiva de la modelización. *Enseñanza de Las Ciencias Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, Extra*, 2015–2020.
- Garrido Espeja, A. (2016). *Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica*. [Tesi Doctoral]. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Garrido Espeja, A., & Couso, D. (2017). La modelización en la formación inicial de maestros : ¿qué mecanismos o estrategias la promueven? *Enseñanza de Las Ciencias*, (Extra), 137-144–144.
- Giere, R. N. (1992). *Conitive Models of Science*. 68(4), 565–566. <https://doi.org/10.1086/418308>
- Gignac, F., Barrera-Gómez, J., Persavento, C., Solé, C., Tena, È., López-Vicente, M., Foraster, M., Amato, F., Alastuey, A., Querol, X., Llavador, H., Apesteguia, J., Júlvez, J., Couso, D., Sunyer, J., & Basagaña, X. (2021). Short-term effect of air pollution on attention function in adolescents ´ A randomized controlled trial in high schools in ( ATENC ! O ): *Environment International*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106614>
- Gil Pérez, D., & Martínez-Torregrosa, J. (1987). Los programas-guía de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación En La Escuela*, 3.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (1998). Learning Science Through Models and Modelling. In *International Handbook of Science Education*. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-4940-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-011-4940-2_4)
- Gravemeijer, K., & Cobb, P. (2013). 3.Design research from the learning design perspective. In *Educational Design Research* (pp. 72–113). <http://international.slo.nl/publications/edr/>
- Gravemeijer, K., & Gravemeijer. (2004). Local Instruction Theories as Means of Support for Teachers in Reform Mathematics Education. *Mathematical Thinking and Learning*, 6(2), 105–128. [https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0602\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0602_3)
- Gravemeijer, K., & van Eerde, D. (2009). Design research as a means for buildign a knowledge base for teachers and teaching in mathematics education. *The Elementary School Journal*, 109, 510–524.
- Grimalt-Álvaro, C., & Couso, D. (2022). ¿Qué sabemos del posicionamiento STEM del alumnado? Una revisión sistemática de la literatura. *Revista de Investigación Educativa*, 40(2), 531–547. <https://doi.org/10.6018/rie.467901>
- 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>
- Grunwald, S., & Hartman, A. (2010). A Case-Based Approach Improves Science Students’



- Experimental Variable Identification Skills. *Journal of College Science Teaching*, January/February (Acs 2003), 28–33.
- 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*, 18(1). <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Guisasola, J., & Oliva, J. M. (2020). Nueva sección especial de REurEDC sobre investigación basada en el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje. *Revista Eureka*, 13(3), 617–627. <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>
- Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J., & Gutierrez-Berraondo, J. (2019). Una propuesta de diseño, evaluación y rediseño de secuencias de enseñanza- aprendizaje en Física introductoria. *UTE, Monogràfic*, 109–122.
- Gutierrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencias conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Biografía*, May 2014. <https://doi.org/10.17227/20271034.13biografia37.66>
- Hadenfeldt, J.C., Bernholt, S., Liu, X., Neumann, K., & Parchmann, I. (2013). Using ordered multiple-choice items to assess students' understanding of the structure and composition of matter. *Journal of Chemical Education*, 90(12), 1602–1608. <https://doi.org/10.1021/ed3006192>
- 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>
- Harlen, W. (2015). Big Ideas of Science Education. In *Science Education Program (SEAP) of IAP* (Vol. 1). <https://doi.org/9780863574313>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2006). Analisis de los datos cuantitativos. In *Metodología de la investigación*. Mc GrawHill, Mexico, D.F.
- Hernández, M. I., & Couso, D. (2016). *Comunicando ciencia en talleres experimentales para estudiantes de educación primaria y secundaria: Aportaciones de la didáctica de las ciencias experimentales al diseño, implementación y evaluación de talleres de comunicación científica*. DDD-UAB. <https://ddd.uab.cat/record/149938>
- 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. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2–3), 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. 1–382). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- Hernández Rodríguez, M. I. (2012). *Desenvolupament iteratiu d'una seqüència d'ensenyament i aprenentatge sobre Propietats Acústiques dels Materials*. [Tesi Doctoral] Universitat Autònoma de Barcelona.

- 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(36), 20. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.397>
- Iliopoulou, I. (2016). Can young students think systemically about the environment? The case of pollution. *Education 3-13*. <https://doi.org/10.1080/03004279.2016.1266688>
- Ioannidou, O., & Erduran, S. (2021). Beyond Hypothesis Testing. Investigating the diversity of scientific Methods in Science Teachers' understanding. *Science & Education*, 30(January), 345–364. <http://dx.doi.org/10.1007/s11207-020-01760-7>
- Izquierdo, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12 (1), 27–43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Izquierdo, M. (2014). Los modelos teóricos en la “enseñanza de ciencias para todos” (eso, nivel secundario). *Revista Bio-Grafía: Escritos Sobre La Biología y Su Enseñanza*, 7(13), 69–85. <https://doi.org/10.17227/20271034.13biografia69.85>
- Izquierdo i Aymerich, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 23(1), 111. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3861>
- Izquierdo, M. (2005). Nuevos contenidos para una nueva época: Aportaciones de la didáctica de las ciencias al diseño de las nuevas ciencias para la ciudadanía. En: *Anais Do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física*.
- Izquierdo, M., & Aliberas, J. (2004). *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències. Per un ensenyament de les ciències racional i raonable*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- 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.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N., & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(1), 45–59.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). Argumentar consiste en evaluar los enunciados en base a pruebas. In Graó (Ed.), *10 ideas calve. Competencia en argumentación y uso de pruebas*.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Determinism and Underdetermination in Genetics: Implications for Students' Engagement in Argumentation and Epistemic Practices. *Science and Education*, 23(2), 465–484. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9561-6>
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Crujeiras, B. (2012). La naturaleza de la ciencia en acción: Prácticas sociales científicas y metacognición en la clase y el laboratorio. *III Seminario Iberoamericano CTS En La Enseñanza de Las Ciencias*.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Crujeiras, B. (2017). Epistemic practices and scientific practices in science teaching. *Science Education*, 69–80.
- Jiménez-Liso, M. R., González-Herrera, M., & Banos-González, I. (2020). Socio-ecological controversies in the news as trigger of a model-based inquiry instructional sequence about the effect of global warming on the great barrier reef. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114676>
- Jiménez-Liso, R., Giménez-Caminero, E., Martínez-Chico, M., Castillo-Hernández, F. J., & López-Gay, R. (2018). ¡Aún no es otoño porque no se han caído todas-todas las hojas ! Propuesta de cambio de contenidos sobre las estaciones. *Aula de Innovación Educativa*, 28–33.

- Jiménez-Liso, R. (2020). Aprender ciencia escolar implica aprender a buscar pruebas para construir conocimiento (indagación). In *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 53–62).
- Jiménez-Liso, Rut. (2022). *Proyecto docente e investigador*. Universidad de Almería.
- Jiménez-Liso, 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. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 39(1), 5. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3032>
- Jiménez-Liso, R., Gómez-Macario, H., Martínez-Chico, M., Garrido-Espeja, A., & López-Gay, R. (2020). Egagrópilas como fuente de pruebas en una indagación . Percepciones de los estudiantes sobre lo que aprenden y sienten. *Eureka*, 17(1), 1–18. <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Joglar, C., & Rojas, S. P. (2019). Overcoming Obstacles to the Formulation and Use of Questions in the Science Classroom: Analysis from a Teacher Reflection Workshop. *Research in Science Education*, 49, 1125–1139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11165-019-9857-5>
- Jorba, J., & Sanmartí, N. (1994). Enseñar, aprender y evaluar. Un proceso de regulación continua. Propuesta didáctica para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas. In *Ministerio de Educación y cultura*.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling , teachers ' views on the nature of modelling , and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369–387. <https://doi.org/https://doi.org/10.https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Juuti, K., Lavonen, J., & Meisalo, V. (2016). Pragmatic Design-Based Research- Designing as a shared activity of teachers and researchers. In D. Psillos & P. Kariotoglou (Eds.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*. Springer, pp. 35–46). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- Kanari, Z., & Millar, R. (2004). *Reasoning from Data : How Students Collect and Interpret Data in Science Investigations*. 41(7), 748–769. <https://doi.org/10.1002/tea.20020>
- Karata, F. Ö., Ünal, S., Durland, G., & Bodner, G. (2013). What Do We Know About Students' Beliefs? Changes in Students' Conceptions of the Particulate Nature of Matter from Pre-instruction to College. In G. Tsaparlis & H. Sevan (Eds.), *Concepts of Matter in Science Education* (pp. 231–247). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5914-5>
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity, and epistemic practice. In R. A. Duschl & R. E. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry. Recommendations for research and implementation*. 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)
- Kelsey, B. K., & Steel, A. (2001). The truth about Science. *NSTA Pres*.
- Kim, A. Y., Sinatra, G. M., & 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>
- Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredricks, J., Soloway, E., Krajcik, J.,

- Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., & Fredricks, J. (1998). Inquiry in Project-Based Science Classrooms : Initial Attempts by Middle School Students Inquiry in Project-Based Science Classrooms : Initial Attempts by Middle School Students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3–4), 313–350. <https://doi.org/10.1080/10508406.1998.9672057>
- Krajcik, J. S., & Merritt, J. (2012). Engaging Students in Scientific Practices. *The Science Teacher*, 79(1), 38–41. [http://learningcenter.nsta.org/files/tst1203\\_38.pdf](http://learningcenter.nsta.org/files/tst1203_38.pdf)
- Kuhn, D., & Dean, D. (2005). Is developing scientific thinking all about learning to control variables? *Psychological Science*, 16(11), 866–870. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01628.x>
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions* (University).
- Leach, J., & Scott, P. (2008). *Designing and Evaluating Science Teaching Sequences : An Approach Drawing upon the Concept of Learning Demand and a Social Constructivist Perspective on Learning* Designing and Evaluating Science Teaching Sequences : An Approach Drawing upon the Concept of. 7267. <https://doi.org/10.1080/03057260208560189>
- Lehrer, R. (2012). Seeding Evolutionary Thinking by Engaging Children in Modeling Its Foundations. *Science Education*, 96(4), 701. <http://mendeley.csuc.cat/fitxers/00483026e5ad290d4bb4c1073e1f5ce9>
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2019). Learning to play the modelling game. In *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (Vol. 145, Issue 3, pp. 221–236). <https://doi.org/10.1037/a0040943>
- Lerner, N. (2007). Drawing to learn science. Legacies of Agassiz. *Technical Writing and Communication*, 37(4), 379–394.
- Lijnse, P., & Klaassen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching–learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), 537–554. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614753>
- Lijnse, P. L. (1995). “Developmental research” as a way to an empirically based “didactical structure” of science. *Science Education*, 79(2), 189–199. <https://doi.org/10.1002/sce.3730790205>
- Lincoln, Y. S. (2007). Authenticity Criteria. *The Blackwell Encyclopedia of Sociology*. <https://doi.org/10.1002/9781405165518.wbeosa076>
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic inquiry. In *SGAE*. [https://doi.org/10.1016/0147-1767\(85\)90062-8](https://doi.org/10.1016/0147-1767(85)90062-8)
- Liu, X., & Lesniak, K. (2006). Progression in Children’s Understanding of the Matter Concept from Elementary to High School. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 320–347. <https://doi.org/10.1002/tea.20114>
- Llombart, V. G., & Catalán, V. G. (2015). Describir y dibujar en ciencias. La importancia del dibujo en las representaciones mentales del alumnado. *Revista Eureka*, 12(3), 441–455.
- Lombard, F. E., & Schneider, D. K. (2013). Good student questions in inquiry learning. *Journal of Biological Education*, 47(3), 166–174. <https://doi.org/10.1080/00219266.2013.821749>
- López-Banet, L., Perales, F. J., & Jimenez-Liso, M. R. (2021). STEAM views from a need : the case of the chewing gum and pH sensopill. *Journal for the Study of Education and Development*, 1–33. <https://doi.org/10.1080/02103702.2021.1927505>

- Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2015). Examining Learning Through Modeling in K-6 Science Education. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2–3), 192–215. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9533-5>
- Louca, L. T., Zacharia, Z. C., & Constantinou, C. P. (2011). In Quest of productive modeling-based learning discourse in elementary school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(8), 919–951.
- Machado, V. F., & Sasseron, L. H. (2012). As perguntas em aulas investigativas de Ciências : a construção teórica de categorias: theoretical construction of Introdução e justificativa. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 12, 29–44. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4229>
- 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. (2002). Dibujar en las clases de ciencias. *Aula de Innovación Educativa*, 117, 54–57.
- Márquez, C., & Artés, M. (2016). *Propuesta de análisis de representaciones sobre el modelo cambio geológico del alimnado del grado de educación primaria*. 24(2), 169–181.
- Márquez, C., Izquierdo, M., & Espinet, M. (2003). Comunicación multimodal en al clase de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de Las Cie*, 21(3), 371–386. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.1993.2.66839>
- Márquez, C., Izquierdo, M., & Espinet, M. (2006). Multimodal Science Teachers ' Discourse in Modeling the Water Cycle. *Science Education*, 90 (2), 202–226. <https://doi.org/10.1002/sce.20100>
- Màrquez, C., Roca, M., & Via, A. (2003). Plantejar bones preguntes: el punt de partida per mirar , veure i explicar amb sentit. In *Aprender ciències tot aprenent a escriure ciència* (Edicions 6, p. 25).
- Marzábal, A.; Delgado, V.; Moreira Seguel, P.; Merino Rubilar, C.; Cabello, V.; Manrique, F.; Soto Alvarado, M.; Cuellar Fernández, L.; Izquierdo, D. (2021). Los modelos materia, reacción química y termodinámica como núcleos estructurantes de una química escolar orientada a la formación ciudadana. *Educación química*, 32(4), 109-126. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.78135>.
- Mcdermott, L. C. (1990). *Millikan Lecture 1990 : What we teach and what is learned — Closing the gap*. April 1991. <https://doi.org/10.1119/1.16539>
- McDermott, L. C. (2001). Oersted Medal Lecture 2001: “Physics Education Research—The Key to Student Learning.” *American Journal of Physics*, 69(11), 1127–1137. <https://doi.org/10.1119/1.1389280>
- McIntyre, D. (2005). Bridging the gap between research and practice. *Cambridge Journal of Education*, 35(3), 357–382. <https://doi.org/10.1080/03057640500319065>
- McKenney, S. (2001). *Computer-Based Support for Science Education Materials Developers in Africa. exploring potentials* [Thesis University of Twente, Enschede]. [https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/14472302/Introduction\\_20to\\_20education\\_20design\\_20research.pdf](https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/14472302/Introduction_20to_20education_20design_20research.pdf)
- 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. (2011). Macro-meso-micro thinking with structure-property relations for chemistry education. In *Faculty of Sciences, Freudenthal Institute*. <http://www.fisme.science.uu.nl/toepassingen/20065/>
- Meijer R., M., Bulte M.W., A., & Pilot, A. (2013). Macro-Micro Thinking with Structure-Property Relations: Integrating “Meso-levels” in Secondary Education. In *Concepts of Matter in Science Education* (Vol. 19, pp. 419–435). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5914-5>
- Merino, C., & Sanmartí, N. (2008). How young children model chemical change. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(3), 196–207. <https://doi.org/10.1039/b812408f>
- Merritt, J., & Krajcik, J. (2013). Learning Progression Developed to Support Students in Building a Particle Model of Matter. In G. Tsaparlis & H. Sevian (Eds.), *Concepts of Matter in Science Education* (Vol. 19, pp. 11–45). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5914-5>
- Mertens, D. (2005). Research and Evaluation in Education and Psychology. In *Research and Evaluation in Education and Psychology*.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis* (3rd Editio). Arizona State Univeristy.
- Millar, R. (2006). Twenty First Century Science: Insights from the design and implementation of a scientific literacy approach in school science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499–1521. <https://doi.org/10.1080/09500690600718344>
- Millar, R., & Driver, R. (1987). Beyond Processes. *Studies in Science Education*, 14(1), 37–41. <https://doi.org/10.1080/03057267408559816>
- Millar, R., Tiberghien, A., & Maréchal, J.-F. (2002). Varieties of Labwork: A Way of Profiling Labwork Tasks. In *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 9–20). [https://doi.org/10.1007/0-306-48196-0\\_3](https://doi.org/10.1007/0-306-48196-0_3)
- 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>
- Moltó Palomares, M. Á. (2022). *Trajectòries d'aprenentatge dels alumnes de 4t d'ESO (15-16 anys) sobre el model cineticocorpuscular avançat de matèria*. [Tesis Doctoral]. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Monteira, S. F., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2016). The practice of using evidence in kindergarten: The role of purposeful observation. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1232–1258. <https://doi.org/10.1002/tea.21259>
- Muñoz-Campos, V., Franco-Mariscal, A.-J., & Blanco-López, Á. (2018). Modelos mentales de estudiantes de educación secundaria sobre la transformación de la leche en yogur. *Revista Eureka*, 15(2). <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Naciones Unidas. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivos de aprendizaje*.
- Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52–73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Nieveen, N., & Folmer, E. (2013). Formative evaluation in educational design research. In



*Educational Design Research. Part A: An introduction* (pp. 152–169).

- NRC. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (Committee). The National Academies Press.
- OCDE. (2015a). *Marcos y pruebas de evaluación de PISA 2015*. <http://www.educacionyfp.gob.es/inee/dam/jcr:e4224d22-f7ac-41ff-a0cf-876ee5d9114f/pisa2015preliminarok.pdf>
- OCDE. (2015b). *PISA 2015. Questionnaire for students. Catalan edition*.
- OCDE. (2020). *PISA 2024 Strategic Vision and Direction for Science* (Issue March).
- Ogborn, J. (2002). Ownership and transformation: teachers using curriculum innovations. *Physics Education*, 37(2), 142–146. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/37/2/307>
- Ogborn, J. (2012). Curriculum development in Physics: not quite so fast! *Scientia in Education*, 3(2), 3–15. <https://doi.org/10.14712/18047106.34>
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2010). What Teachers of Science Need to Know about Models : An overview  
What Teachers of Science Need to Know about Models : An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8)(January), 1109–1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 37(2), 5–24. <https://doi.org/10.5565/REV/ENSCIENCIAS.2648>
- Oliva, J. M. (2005). Sobre el estado actual de la revista Enseñanza de las Ciencias y algunas propuestas de futuro. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 23(1), 123–132. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3862>
- Oliveras, B., Márquez, C., & Sanmartí, N. (2013). The Use of Newspaper Articles as a Tool to Develop Critical Thinking in Science Classes. *International Journal of Science Education*, 35(6), 885–905. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.586736>
- Ortiz Revilla, J. (2020). *El desarrollo competencial en Educación Primaria: efectos de una propuesta STEAM integrada* (Vol. 1).
- 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>
- Osborne, J., Pimentel, D., Alberts, B., Allchin, D., Barzilay, S., Bergstrom, C., Coffey, J., Donovan, B., Dorph, R., Kivinen, K., Kozyreva, A., Perkins, K., Permuter, S., & Wineburg, S. (2022). *Science education in an age of misinformation*.
- Palmer, D. (1995). The POE in the primary school: An evaluation. *Research in Science Education*, 25(3), 323–332. <https://doi.org/10.1007/BF02357405>
- Papaevripidou, M., Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). On Defining and Assessing Learners' Modeling Competence in Science Teaching and Learning. *Annual Meeting of American Educational Research Association (AERA), May 2015*.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Perales, F. J., & Aguilera, D. (2020). Ciencia-Tecnología-Sociedad vs . STEM: ¿evolución ,

- revolución o disyunción ? *Ápice*, 4(1), 1–15.
- Pérez-Torres, M. (2022). *Els projectes a l'aula de ciències de secundària: identificació de tensions i tipologies*. UAB.
- Pérez-Torres, M., Couso, D., & Márquez, C. (2021). ¿Cómo diseñar un buen proyecto STEM? Identificación de tensiones en la co-construcción de una rúbrica para su mejora. *Revista Eureka*, 18(1). <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Pintó, R. (2004). Introducing curriculum innovations in science: Identifying teachers' transformations and the design of related teacher education. *Science Education*, 89(1), 1–12. <https://doi.org/10.1002/sce.20039>
- Pintó, R., Satorra, A., Couso, D., & Simarro, C. (2015). ¿Cómo podemos estimular una mente científica? *Estudio sobre vocaciones científicas*.
- Plomp, T. (2013). Educational Design Research: an Introduction. In *Educational Design Research: an Introduction* (pp. 9–35).
- Pozo, J. I., del Puy Pérez, M., Sanz, A., & Limón, M. (1992). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, 15(57), 3–21. <https://doi.org/10.1080/02103702.1992.10822321>
- Pruneau, D., Richard, J. F., Langis, J., Albert, G., & Cormier, M. (2005). The evolution of children's ideas on pollution in the framework of experiential and socioconstructivist activities. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 4(1), 17–34. <https://doi.org/10.1504/IJESD.2005.006771>
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2016). Iterative Design of Teaching-Learning Sequences. In *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*.
- Pujol, R. M. (2003). *Didáctica de las ciencias en la educación primaria*. Síntesis.
- Puntambekar, S., & Kolodner, J. L. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: Helping students learn science from design. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 185–217. <https://doi.org/10.1002/tea.20048>
- Rea-Ramirez, M. . (2008). Determining Target Models and Effective Learning Pathways for Developing Understanding of Biological Topics. In J. J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Models and Modelling in Science Education. Model based Learning and Instruction in Science*.
- Reeves. (2006). Design Research from a Technology Perspective. In J. Van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney, & N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research*. Routledge.
- Roca Tort, M., Márquez, C., & Sanmartí, N. (2013). Las preguntas de los alumnos: una propuesta de análisis. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 31(1), 95–114. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.603>
- Rocard, M. (2007). Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe. In *Economy and Society*. [http://ec.europa.eu/research/science-society/document\\_library/pdf\\_06/report-rocard-on-science-education\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf)
- Rodríguez Simarro, C., & Couso, D. (2018). *Compendio de herramientas de evaluación para ferias de ciencia. Aprendizajes de la evaluación de la feria Elhuyar Zienzia Azoka*.DDD, UAB.
- Rojas, A., & Joglar, C. (2017). Buenas preguntas del estudiantado en clases de biología, a partir

- de cuestiones socio-científicas. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, Extra*, 4665–4670.
- Romero-Ariza, M. (2014). Uniendo investigación, política y práctica educativas: DBR, desafíos y oportunidades. *Magis*, 7(14), 159–176. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.M7-14.UIPP>
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka*, 14(2), 286–299. <https://doi.org/10.2526/1169>
- Romero-Ariza, M., Quesada, A., Abril, A. M., Sorensen, P., & Oliver, M. C. (2020). Highly Recommended and Poorly Used: English and Spanish Science Teachers' Views of Inquiry-based Learning (IBL) and its Enactment. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(1), 1–16. <https://doi.org/10.29333/ejmste/109658>
- Romero Ariza, M., Quesada Armenteros, A., & Abril Gallego, A. M. (2020). Construcción de una máquina eólica: Indagar en primaria desde los nuevos estándares de ciencias. *Aula*, 298(Octubre), 31–35.
- Sanmartí, N. (2010). Avaluar per aprendre: l'avaluació per millorar els aprenentatges de l'alumnat en el marc del currículum per competències. In *Generalitat de Catalunya: Departament d'Educació*.
- Sanmartí, N., & Márquez, C. (2012). Enseñar a plantear preguntas investigables. *Alambique*, 70, 27–36.
- Sanmartí, N., & Márquez, C. (2017). *Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción*. 1(1), 3–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>
- Schwarz, C. V., & Gwekwerere, Y. N. (2006). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support Preservice K-8 science teaching. *Science Education*, 91(1), 158–186. <https://doi.org/10.1002/sce>
- Schwarz, C. V., & White, B. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165–205. <https://doi.org/10.1145/159420.155834>
- 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>
- Scott, E., Wenderoth, M. P., & Doherty, J. H. (2019). Learning progressions: An empirically grounded, learner-centered framework to guide biology instruction. *CBE Life Sciences Education*, 18(4), 1–11. <https://doi.org/10.1187/cbe.19-03-0059>
- Séré, M. G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8(4), 413–425. <https://doi.org/10.1080/0140528860080408>
- Settlage, J. (2007). *Demythologizing Science Teacher Education : Conquering the False Ideal of Open Inquiry Authors*. Demythologizing Science Teacher Edu False Ideal of Open Inquiry. Springer Stable, 18(4), 461–467.
- Simarro, C., & Couso, D. (2018). Visiones en educación STEAM: y las mates ¿qué? *UNO . Didáctica de Las Matemáticas*, 81(Julio), 49–56.
- Simarro, C., Couso, D., & Pintó, R. (2013). Indagació basada en la modelització: un marc per al

- treball pràctic. *Ciències*, 25, 35–43.
- Skamp, K., Boyes, E., & Stanisstreet, M. (2004). Students' ideas and attitudes about air quality. *Research in Science Education*, 34(3), 313–342. <https://doi.org/10.1023/B:RISE.0000044643.24770.5c>
- Solé, C., Hernández, M. I., & Márquez, C. (2019). El cicle de modelització com a eina d'anàlisi d'una unitat didàctica sobre energia. *Didacticae*, 5, 43–56. <https://doi.org/10.1344/did.2019.5.43-56>
- 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., Tena, È., Couso, D., & Hernández, M. (2021). ¿Cómo es el aire contaminado? Ideas del alumnado de primaria y secundaria sobre la estructura y la naturaleza de la contaminación atmosférica. *29 Encuentros de Didáctica de Las Ciencias Experimentales, March*, 253–262.
- Solé, C., Tena, È., Couso, D., & Hernández, M. I. (2019). *Investigar sobre la contaminación a l'aula de Secundària*. DDD-UAB. <https://ddd.uab.cat/record/201543?ln=ca>
- Soto, M. (2019). *Influencia de una propuesta formativa centrada en la modelización en la evolución del modelo científico escolar de energía en futuros docentes de física y matemática*.
- Soto, M., Couso, D., & López, V. (2016). Una propuesta de enañanza-aprenizaje centrada en el análisis del camino de la energía "paso a paso." *Revista Eureka*, 16(1). <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Taber, K. S. (2013). Modelling Learners and Learning in Science Education. In *Modelling Learners and Learning in Science Education*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7648-7>
- 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>
- Talanquer, V. (2018). Research and Practice Progressions in reasoning about structure – property. *Chemistry Education Research and Practice*, 998–1009. <https://doi.org/10.1039/c7rp00187h>
- Talanquer, V. (2020). La progresión de los aprendizajes sobre la composición , estructura y transformación química de la materia. *Educación Quí*, 27, 4–11.
- Tena, È. (2021). ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primaria. *Ápice*, 5(2), 87–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7613>
- Tena, È., & Couso, D. (in press). El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria. *Enseñanza de Las Ciencias*, 1–23. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5573>
- Tena, È., & Couso, D. (2020). ¿Cómo ayudar al alumnado a investigar en ciencias? *Aula de Innovación Educativa*, 298(Octubre), 15–20.
- Tena, È., & Couso, D. (2021). What Is City Air Made of? An Analysis of Pupils' Conceptions of Clean and Polluted Air. In O. Levrini, G. Tasquier, T. G. Amin, & L. Branchetti (Eds.), *Engaging with Contemporary Challenges through Science Education* (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. (in press). ¿Cómo sé que mi secuencia didáctica es de calidad? Propuesta de un marco de evaluación desde la perspectiva de la Investigación Basada en el Diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.
- Thornber, J., Stanisstreet, M., & Boyes, E. (1999). School Students' Ideas about Air Pollution: Hindrance or Help for Learning? *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 67–73.
- van den Akker, J. (1999). Principles and Methods of Development Research. *Design Approaches and Tools in Education and Training*, 1–14. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-4255-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-011-4255-7_1)
- van den Akker, J. (2013). 2. Curricular development research as a specimen of educational design research. In *Educational Design Research. Part A: An introduction*. (pp. 53–70).
- van den Akker, J. , Gravemeijer, K., McKenney, S., & Nieveen, N. (2006). *Educational Design Research*. Routledge. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-25233-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-658-25233-5_3)
- Vázquez, R., & Angulo, F. (2003). *Introducción a los estudios de casos. Los primeros contactos con la investigación etnográfica*. Aljibe.
- Vergara, C., López, V., & Couso, D. (2020). Revisiting the landscape roaming metaphor to understand students' ideas on mammals' and birds' thermal regulation. *Journal of Biological Education*, 00(00), 1–14. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1748894>
- Williams, M., Unrau, Y. A., & Grinnell, R. M. (2005). The qualitative research approach. In R. M. Grinnell & Y. A. Unrau (Eds.), *Social work: Research and evaluation. Quantitative and qualitative approaches* (7th editio, pp. 75–87). Oxford University press.
- Windschitl, M. (2008). How Novice Science Teachers Appropriate Epistemic Discourses around Model-Based Inquiry for Use in Classrooms. *Cognition and Instruction*, 26(3), 310. <http://mendeley.csuc.cat/fitxers/4753c3e87bdaaff9b7b447db675dd673>
- 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>
- Zabel, J., & Gropengiesser, H. (2011). *Learning progress in evolution theory: climbing a ladder or roaming a landscape?* 9266. <https://doi.org/10.1080/00219266.2011.586714>
- Zemal-Saul, C. (2009). Learning to teach elementary school science as argument. *Science Education*, 93(4), 687–719. <https://doi.org/10.1002/sce.20325>
- Zemal-Saul, C. (2017). Minding the Research – Practice Gap: Promising Approaches for Continuous Innovation in Science Teacher Education [conferencia invitada]. *10o Congreso de Enseñanza de Las Ciencias*.
- Zoller, U., & Tsapalis, G. (1997). Higher and lower-order cognitive skills: The case of chemistry. *Research in Science Education*, 27(1), 117–130. <https://doi.org/10.1007/BF02463036>

## ÍNDIX DE FIGURES

<b>Figura 1.</b> Figura realitzada per Jiménez-Aleixandre & Crujeiras (2017) en la que es relacionen les diferents dimensions del marc de la pràctica científica (part superior de la figura), amb les dimensions de l'alfabetització científica del marc de PISA (2015) (part inferior de la figura). En el centre de la figura, es poden observar algunes de les pràctiques... que es relacionen amb cadascuna de les dimensions mencionades. ....	11
<b>Figura 2.</b> Cicle de Modelització proposat per Couso (2020) basat en la proposta de Couso i Garrido-Espeja (2017). ....	14
<b>Figura 3.</b> Cicle d'indagació proposat per Jiménez-Liso (2020). Traducció lliure. ....	18
<b>Figura 4.</b> Esquema de les seccions i dels estudis que conformen la tesi doctoral.....	49
<b>Figura 5.</b> Esquema de l'objectiu, contingut i productes resultants de la secció 4 d'aquesta tesi relacionada amb l'planificació, disseny, implementació, avaluació i redisseny/refinament d'una SEA/DI.....	55
<b>Figura 6.</b> Imatges de diferents grups de nens i nenes durant la implementació de les diverses versions del material. ....	59
<b>Figura 7.</b> Exemple d'evolució de l'eina de bastida PaPER en tres prototips de la SEA/DI lligada a l'avaluació de l'avaluació de diferents dimensions (vàlidesa i utilitat) de la qualitat els criteris que les conformen (coherència teòrica i productivitat respectivament) .....	62
<b>Figura 8.</b> Resum de les diferents fases de la recerca realitzada i les accions i productes relacionades amb cadascuna d'elles. ....	64
<b>Figura 9.</b> Esquema resum de l'avaluació de la qualitat en termes de vàlides i utilitat de la SEA/DI i del contingut de l'estudi 1 d'aquesta tesi doctoral.....	89
<b>Figura 10.</b> Relació entre la prioritització d'objectius al prototip 1 (a la esquerra de la imatge) i la prioritització d'objectius del prototip 2 (a la dreta de la imatge) després de l'anàlisi de la coherència interna. ....	93
<b>Figura 11.</b> Exemple de com s'ha incorporat als objectius de la SEA/DI la importància de la matèria particulada (PM) per a la comprensió del fenomen de la contaminació atmosfèrica especialment en les grans ciutats destacat pels investigadors/es en epidemiologia en l'avaluació de la coherència teòrica.....	96
<b>Figura 12.</b> Activitat d'expressió de les idees inicials i finals en els prototips 1 i 2 de la SEA/DI..	97
<b>Figura 13.</b> Exemple de l'apartat de planificació de l'eina de bastida PaPER del prototip 2 utilitzada per l'alumnat.....	105
<b>Figura 14.</b> Fragment de l'eina de bastida PaPER corresponent a la fase de planificació en el prototip 3 .....	106
<b>Figura 15.</b> Esquema resum de l'avaluació de la qualitat en termes de confiabilitat de la SEA/DI i del contingut dels estudis 2 i 3 de la tesi doctoral. ....	111
<b>Figura 16.</b> Enunciat de la tasca 0.1. a partir de la que s'han recollit part de les dades principals de l'estudi 2 relacionades amb les idees inicials de natura i estructura de l'aire net i contaminat de l'alumnat de cicle superior de primària. ....	122
<b>Figura 17.</b> Imatge representativa de la codificació feta amb Atlas.ti 9 de les produccions d'aire net i contaminat pre i post de l'alumnat.....	125
<b>Figura 18.</b> Exemple de codi intel·ligent generat amb Atlas.ti 9 corresponent a la idea d'aire net com a una substància continua, a nivell macro, amb un únic component que no és representat .....	127
<b>Figura 19.</b> Enunciat de l'apartat relacionat amb les preguntes investigables de l'eina didàctica d'andamiatge PaPER utilitzat a l'activitat 2.2. a partir de la que s'han recollit les dades principals de l'estudi 3. ....	147



<b>Figura 20.</b> Caracterització dels 3 moments de recollida de les produccions de l'alumnat que es consideren les dades principals d'aquest estudi: les preguntes investigables dissenyades per l'alumnat al llarg de l'activitat 2.2.....	148
<b>Figura 21.</b> Exemple de document del grup 1 de l'escola E2 (E2_G1) generat per a l'anàlisi amb Atlas.ti 9 de l'evolució de les preguntes .....	149
<b>Figura 22.</b> Exemple de les preguntes dissenyades pel grup 6 de l'escola E1 (G6_E1) amb anotacions relacionades amb el context i idees expressades en les posades en comú .....	150
<b>Figura 23.</b> Imatge representativa de la codificació feta amb Atlas.ti 9 dels dissenys de preguntes científicament investigables de l'alumnat .....	151
<b>Figura 24.</b> Exemple de codi intel·ligent generat amb Atlas.ti 9 corresponent al nivell de sofisticació 4.....	153
<b>Figura 25.</b> Exemple d'anotacions, preguntes i exemples clau que poden ajudar a l'alumnat i que apareixen al material docent del prototip 3 com a guia pels mestres. ....	183
<b>Figura 26.</b> Exemple de la tasca 1.1. que s'inclou en el prototip 4 de la SEA/DI per ajudar a l'alumnat a construir una idea d'aire net com a substància que a nivell mes/submicroscòpic podem imaginar com a part/partícules de diferent natura.....	185
<b>Figure 27.</b> English version of the theoretical and methodological framework published in Tena & Couso (in press). In grey colour, the essential elements and crucial stages of a TLS that has been identified in a DBR paradigm.....	194

## ÍNDIX DE TAULES

<b>Taula 1.</b> Comparació de les característiques dels dissenys basats en recerca i la investigació basada en recerca en base a Guisasola et al. (2021) .....	24
<b>Taula 2.</b> Resum dels principis de disseny i les eines de disseny principals i exemples concrets del seu ús pel disseny de la SEA/DI sobre contaminació atmosfèrica per alumnat 5è i 6è de primària. ....	58
<b>Taula 3.</b> Resum de les característiques principals dels prototips 1-4 de SEA/DI dissenyats, implementats i avaluats dins d'aquesta recerca.....	60
<b>Taula 4.</b> Resum de les dades, tipologia d'anàlisi, resultats i modificacions derivades de l'avaluació de la validesa i concretament dels criteris de coherència interna i coherència teòrica de la SEA/DI .....	91
<b>Taula 5.</b> Resum de la relació entre els blocs, objectius, activitats i temps estimat de dedicació a cadascuna de les activitats al prototip 1 de la SEA/DI. ....	92
<b>Taula 6.</b> Resum de les dades, tipologia d'anàlisi, resultats i modificacions derivades de l'avaluació de la validesa i concretament dels criteris de coherència interna i coherència teòrica de la SEA/DI .....	98
<b>Taula 7.</b> Data de publicació, nombre de consultes i de descàrregues dels diferents dels prototips de la SEA/DI dissenyats i implementats .....	107
<b>Taula 8.</b> Esquema de la SEA/DI (Prototip 3: Microxarxa curs 2019-2020), context en què s'han recollit les dades sobre la confiabilitat (estudis 2 i 3) .....	113
<b>Taula 9.</b> Resum de les característiques principals de les escoles E1 i E2 en les que s'han recollit dades per a la investigació d'aquesta tesi, tipus de dades recollides i article de recerca al que es vinculen. ....	120
<b>Taula 10.</b> Exemple de taula d'anàlisi de la concurrència de codis entre les idees prèvies de l'alumnat relacionades amb les dimensions d'estructura de l'aire net. ....	126
<b>Taula 11.</b> Exemple de categories incipients per a l'anàlisi dels dissenys de les preguntes científicament investigables dissenyades per l'alumnat.....	152
<b>Taula 12.</b> Exemple de taula d'anàlisi de la concurrència de codis relacionades amb les preguntes científicament investigables dissenyades per l'alumnat.....	153
<b>Taula 13.</b> Resum de les dades, tipologia d'anàlisi, resultats i modificacions derivades de l'avaluació de la confiabilitat i dels criteris d'eficàcia nivell 1, 2 i 3 de la SEA/DI. ....	181



# ANNEX



# ANNEX 1. CARTA D'ACCEPTACIÓ DE LA CADP PER PRESENTAR LA TESI PER COMPENDI D'ARTICLES



Doctorat en Educació

## 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 ÈLIA TENA i GALLEGRO (NIU: 1333217), amb el vistiplau de la CAPD i formada per:

- Dra. Mercè Junyent Pubill (coordinadora del Doctorat en Educació i membre de la CAPD)
- Dr. Lluís Albarracín Gordo (coordinador de les línies 1 i 2, de l'àmbit de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals i membre de la CAPD)
- Dr. Jordi Pàmies Rovira (director del Departament de Teories de l'Educació i Pedagogia Social i membre invitat de la CAPD)

reunida el 27 de juny de 2022 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: *Modelitzar i indagar la contaminació atmosfèrica a l'aula de primària. Anàlisi des de la perspectiva de Investigació Basada en el Disseny*

Directora: Dra. Digna Couso

Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), a 27 de juny de 2022

Nom i signatura de les persones de la Comissió

MERCE  
JUNYENT  
PUBILL -  
DNI  
39314734Y  
Firmado digitalmente por  
MERCE JUNYENT  
PUBILL - DNI  
39314734Y  
Fecha: 2022.06.27  
12:35:54 +02'00'

**Dra. Mercè Junyent**

JORGE  
PAMIES  
ROVIRA -  
DNI  
35025669G  
Signat digitalment per  
JORGE PAMIES  
ROVIRA - DNI  
35025669G  
Data: 2022.06.27  
15:47:38 +02'00'

**Dr. Jordi Pàmies**

LLUIS  
ALBARRACIN  
GORDO - DNI  
53120766N  
Firmado digitalmente por  
LLUIS ALBARRACIN  
GORDO - DNI  
53120766N  
Fecha: 2022.06.27  
15:25:26 +02'00'

**Dr. Lluís Albarracín**



## **ANNEX 2. CONSENTIMENTS INFORMATS I CESSIÓ DELS DRETS D'IMATGE DE L'ALUMNAT PARTICIPANT**

Per a la recollida de dades de l'alumnat es va demanar un consentiment informat per a tots els participants i, a més a més, una cessió dels drets d'imatge en aquells casos en que s'han agafat dades audiovisuals. Tots dos documents han estat dissenyats seguint els requeriments ètics del moment de la recollida de dades. Al tractar-se d'alumnat d'entre 10 i 12 anys tots dos documents van haver de ser signats pels familiars o tutors legals corresponents. Aquests documents degudament signats es van recollir, escanejar i guardar.

A banda d'això, també es va informar de viva veu als participants de l'objectiu de la recerca i del seu dret de no participar o deixar de participar en aquesta en qualsevol moment que ho consideressin.

A continuació s'adjunta un exemple de la documentació utilitzada.



### **Participació Científica Escolar per a la qualitat de l'aire (Projecte ParticipAIRE) FULL INFORMATIU PELS PARTICIPANTS**

**Bellaterra 09/01/2018**

Voldríem convidar a participar als vostres fills i filles a participar de nou en el projecte de recerca ParticipAire. Aquest projecte liderat pels centres de recerca ISGlobal i CRECIM impulsat per FECYT, té com a objectiu principal:

- Fomentar l'apoderament, interès, competència científica i participació de l'alumnat de 5è i 6è de primària en un projecte de medi natural en el context de la contaminació.

Aquest estudi que estem realitzant en el marc del projecte ParticipAire s'articula al voltant de la observació de classes de ciències experimentals del cycle superior de primària d'escoles catalanes. Per això volem convidar als vostres fills i filles a participar en un projecte educatiu sobre contaminació atmosfèrica al voltant de la seva escola. Aquest projecte s'articula al voltant de la observació de classes de medi natural del cycle superior de primària de diferents escoles catalanes. Aquestes observacions d'aula ens permetran d'una banda millorar el material educatiu que es proposa per a l'alumnat i d'altra banda aprendre més coses sobre el procés d'ensenyament i aprenentatge d'elles ciències a les classes de medi del cycle superior de primària.

Les dades obtingudes de l'estudi s'utilitzaran únicament per finalitats acadèmiques i mantindrem la confidencialitat de totes les dades que recollim durant el projecte. En cap cas s'utilitzaran de manera pejorativa, ja que la nostra intenció és identificar com s'usen les eines per poder descriure bones pràctiques.

Si permeteu al vostre fill/filla participar en aquest projecte ompliu, si us plau, el formulari de consentiment que us donarem. Us agraïrem molt la vostra participació en aquesta recerca. Estem convençuts que la feina que podem fer conjuntament per entendre millor com l'alumnat de primària aprèn ciències i com podem fomentar la seva participació en pràctiques científiques tals com observar,

Per qualsevol dubte us podeu posar en contacte amb:

Èlia Tena i Gallego  
Digna Couso Lagarón  
CRECIM (Tel: 93 581 44 96)

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



**Participació Científica Escolar per a la qualitat de l'aire  
(Projecte ParticipAIRE)  
FORMULARI DE CONSENTIMENT**

*Feu una creu als requadres **SÍ** esteu d'acord amb l'enunciat de l'esquerra*

1. He llegit i entès el full informatiu del 09/01/2018 sobre el projecte ParticipAire i he tingut la oportunitat de fer preguntes sobre el projecte.
2. Entenc que la participació del meu fill/a és voluntària i que som lliures de deixar de participar en qualsevol moment sense haver de donar cap explicació i sense que això tingui cap conseqüència negativa. Així mateix, durant la seva participació tinc total llibertat per no respondre preguntes quan ho consideri oportú.
3. Entenc que les seves respostes i qualsevol dada que tingui connexió amb ell/a, incloses les possibles gravacions de vídeo i àudio, seran estrictament confidencials que no serà identificat/da pel nom en els materials de recerca generats pel projecte.
4. Entenc que les dades generades pel projecte només s'utilitzaran per a finalitats acadèmiques. Qualsevol altre ús ha de ser autoritzat amb la meua signatura en un formulari a part.
5. Entenc que les dades relacionades amb les seves respostes no seran utilitzades, en cap cas, de manera pejorativa envers la seva persona, les seves opinions, la seva activitat acadèmica o els seus resultats.
6. Permeto que els membres de l'equip es posin en contacte amb mi i amb el meu fill/a, per correu electrònic, per tal de parlar sobre el projecte.
7. Accepto que el meu fill/a participar en el projecte ParticipAire i informaré a l'equip del CRECIM si canvio les meves dades de contacte.

\_\_\_\_\_  
Nom del pare/mare/tutor

\_\_\_\_\_  
DNI

\_\_\_\_\_  
Signatura

Per qualsevol dubte us podeu posar en contacte amb:  
Èlia Tena i Gallego [elia.tena@uab.cat](mailto:elia.tena@uab.cat)  
Digna Couso Lagarón [digna.couso@uab.cat](mailto:digna.couso@uab.cat)  
CRECIM (tel: 93 581 44 96)

### Cessió del dret d'imatge al projecte ParticipAIRE

Benvolguts,

Enguany la vostra escola ha decidit participar en el projecte ParticipAIRE (Participació Científica Escolar per a la qualitat de l'aire). Aquest projecte està coordinat pel CRECIM (Centre de Recerca per l'Educació Científica i Matemàtica) i ISGlobal (Institut de Salut Global) i té com a objectiu principal: fomentar l'apoderament, interès, competència científica i participació de l'alumnat en un projecte de medi natural en el context de la contaminació de l'aire.

Aquest projecte que estem realitzant s'articula al voltant de la observació de classes de ciències experimentals de cycle superior de diferents escoles catalanes. Aquestes observacions d'aula ens permetran d'una banda millorar el material educatiu que es proposa per a l'alumnat i d'altra banda aprendre més coses sobre el procés d'ensenyament i aprenentatge de les ciències a les classes de medi de primària.

Donat que el dret a la pròpia imatge està reconegut a l'article 18.1 de la Constitució i regulat per la Llei 5/1982, de 5 de maig, sobre el dret a l'honor, a la intimitat personal i familiar i a la pròpia imatge, us demanem consentiment a les famílies o tutors legals per poder registrar imatges i produccions escrites (material d'aula, dibuixos...) on apareguin els vostres infants on aquest o aquesta sigui identificable.

Els documents recollits seran utilitzats únicament amb finalitats de recerca. Així, les gravacions i dibuixos obtinguts s'utilitzaran com a material informatiu intern i no es publicaran en mitjans de caire comercial. A més a més, les dades recollides seran tractades de manera estrictament confidencial i en cap cas l'alumnat serà identificat pel nom ni la imatge en els possibles materials de recerca que es generin.

En cas de voler conèixer més a fons el projecte podeu consultar la web del mateix (<https://sites.google.com/view/participaire/inici>) o posar-vos en contacte amb: Èlia Tena Gallego via email ([elia.tena@uab.cat](mailto:elia.tena@uab.cat)) o via telefònica (935814496).



-----  
Part a retornar a l'escola:

En/Na ..... amb DNI o passaport  
....., com a ..... (pare, mare, tutor/a)  
autoritza que..... (nom de l'infant), pugui aparèixer en  
vídeos o enregistraments corresponents a activitats escolars lectives i que es puguin  
recollir les produccions escrites (dibuixos, material d'aula...) realitzades en aquest  
context.

A, ....., el ..... de ..... de 201\_

## **ANNEX 3. ANNEX DE LA SECCIÓ 4**

### **PROCÉS DE PLANIFICACIÓ, DISSENY, IMPLEMENTACIÓ I REDISSENY/ REFINAMENT D'UNA SEQÜÈNCIA D'ENSENYAMENT I APRENTATGE PER ALUMNAT DEL CICLE SUPERIOR DE PRIMÀRIA SOBRE EL FENOMEN DE LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA DES DE LA PERSPECTIVA IBD**

A continuació en aquest annex s'adjunten algunes de les eines de disseny que s'han construït i tingut en compte en el procés de de planificació, disseny, implementació i redisseny/ refinament de las SEA/DI per alumnat del cicle superior de primària sobre el fenomen de la contaminació atmosfèrica des de la perspectiva IBD.

Per a la seva construcció s'han tingut en compte els principis de disseny dels quals es deriven així com les diferents aportacions de la literatura que s'han considerat rellevants.

En concret, al l'annex 3.1. s'adjunten algunes de les idees sobre aire i contaminació atmosfèrica que s'han trobat a la literatura en forma de mapa, a l'annex 3.2. les idees alternatives més rellevants que la literatura ha destacat sobre la temàtica i a l'annex 3.3. l'esquema de seqüenciació dels diferents prototips dissenyats tenint en compte els cicles de modelització i indagació.

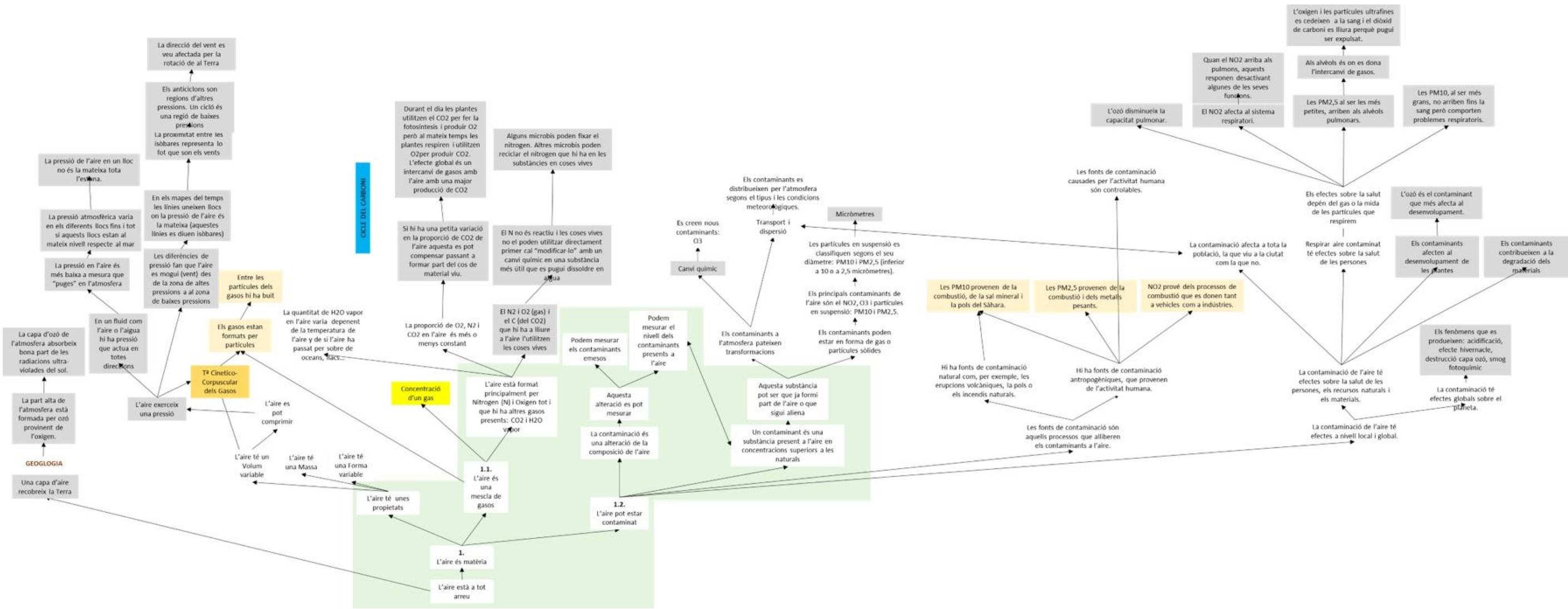
#### **Annex 3.1. Idees en més rellevants relacionades amb el fenomen de la contaminació destacades per la literatura en una certa progressió**

---

A partir de la revisió de la literatura del model matèria i també de les publicacions sobre el fenomen de la contaminació es va construir un mapa d'idees. En aquest s'intenten agrupar els continguts a treballar per àrees temàtiques i alhora s'estableixen relacions entre idees de diferents àrees temàtiques.

Tot i que per a la seva construcció s'han tingut en compte la progressió d'idees proposada per diferents autors, aquesta no és exhaustiva ni està empíricament validada.

Aquest mapa d'idees ha estat útil per a tenir una visió global del conjunt d'idees amb que es relaciona el fenomen de la contaminació i alhora per definir quina o quines de les idees relacionades amb aquest fenomen es volien treballar a la SEA/DI. L'àrea amb el fons verd clar delimita el conjunt d'idees que s'han tingut en compte per a la definició de les idees clau que es volen treballar a la SEA/DI.



Annex 3.2. Taula resum amb les idees alternatives sobre l'aire i la contaminació més comuns entre l'alumnat que ha subratllat la literatura

La taula que hi ha a continuació recull algunes de les idees alternatives apuntades per la literatura. Aquestes es classifiquen tenint en compte el fenomen al que fan referència i la idea clau concreta amb la que es vinculen. La taula que es presenta és la última versió d'aquesta però, tal com ha succeït amb la resta de documents de la SEA/DI aquesta ha anat evolucionant al llarg del procés de disseny ja que s'han anat incorporant les noves idees de la literatura a mesura que s'anaven publicant o s'avançava en la seva revisió. Cal posar de manifest, que per a aquesta tesi no s'ha fet una revisió sistemàtica de les concepcions.

FENOMEN	IDEA CLAU	IDEES ALTERNATIVES APUNTADES PER LA LITERATURA
Aire	L'aire és matèria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alguns alumnes associen l'existència de aire únicament al moviment de l'aire sense reconèixer l'existència de l'aire a tot arreu per si sol. Per això alguns pensen que l'aire només existeix al voltant de les portes o quan obren les finestres i no reconeixen l'existència d'aire en un contenidor tapat. (Driver, R., et al., 1994).</li> <li>• Alguns pensen que l'aire és transitori i abstracte com les idees (Driver, R., et al., 1994). Alguns pensen que l'aire és lleuger (que no te pes o que té un pes negatiu). Els estudiants no reconèixer fàcilment que l'aire i els altres gasos tenen massa. (Driver et al., 1994).</li> <li>• Alguns pensen que l'aire i la gravetat estan relacionat o són inseparables: molts pensen que l'aire es un medi a través del qual el magnetisme i la gravetat actuen. (Driver et al., 1994).</li> </ul>
	L'aire està format per partícules	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alguns alumnes creuen que els gasos són una substància continua (Driver et al., 1994). Els alumnes que accepten la idea de l'aire està format per partícules tenen dificultats en acceptar que entre aquestes hi ha buit i no aire. (Driver et al., 1994).</li> <li>• Fins i tot quan l'alumnat s'introdueix en la mirada atòmica-molecular de les partícules aquests segueixen sense identificar que els gasos estan format per partícules. (Driver et al., 1994).</li> <li>• L'alumnat utilitza el terme "partícula" de manera molt polisèmica ja que l'utilitza per fer referència tant molècules o àtoms (p. ex. partícules que formen els gasos, O<sub>2</sub>...) com a una porció molt petita d'alguna cosa (p. ex. partícula de pols, de sutge...). (Solé et al. 2020)</li> </ul>
	L'aire és un gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Els alumnes tenen moltes dificultats per reconèixer l'existència de gasos fins i tot quan són conscient de l'existència de sòlids i líquids. Les experiències amb gasos – que tenen color, olor i/o estan en moviment- poden reforçar el concepte de que els gasos són "reals". (Driver et al., 1994).</li> <li>• És difícil de convèncer als alumnes que tot i no poder-lo detectar a través dels sentits (p.ex. no hi ha color, olor...) el gas segueix existint. (Driver et al., 1994; (Iliopoulou, 2016)).</li> </ul>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molts alumnes creuen que l'aire és una cosa "bona" perquè l'utilitzem per respirar i per viure. En canvi, consideren que el "gas" és una cosa "dolenta" i "perillosa". (Driver et al., 1994).</li> </ul>
	<b>L'aire és una mescla de gasos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molts alumnes creuen que l'aire és una única substància sense identificar necessàriament que l'aire és una barreja de gasos. (Driver et al., 1994)(Skamp et al., 2004)).</li> <li>• Molts alumnes utilitzen oxigen en el context de la respiració com a sinònim d'aire ja que es difícil diferenciar entre materials invisibles que rarament es troben separats i que són gasos. (Driver et al., 1994).</li> <li>• Els alumnes que pensen en oxigen com el que constitueix l'aire no necessàriament pensen que l'oxigen interacciona amb les substàncies. (Driver et al., 1994).</li> <li>• Els alumnes no necessàriament reconeixen la diferència entre l'aire inspirat i expirat. Alguns poden pensar que només inspiren oxigen i només expiren diòxid de carboni. (Driver et al., 1994).</li> <li>• Molts dels alumnes no són conscients que el vapor d'aigua es un dels gasos que hi ha a l'aire (Driver et al., 1994).</li> </ul>
<b>Contaminació</b>	<b>L'aire pot estar contaminat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La majoria d'estudiants pensen que l'aire està contaminat perquè hi ha una cosa "extra" que no estava a l'aire no contaminat sense tenir en compte que la contaminació també pot estar provocada per una concertació més alta de lo normal a l'atmosfera. (Thornber et al., 1999)</li> <li>• La majoria d'alumnes creuen que la contaminació només existeix si és detectable pels sentits, especialment, la vista o l'olfacte. (Boyes et al., 2007)</li> </ul>
	<b>Contaminants</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molts alumnes identifiquen el diòxid de carboni com el principal contaminant, (tot i que la comunitat científica no el considera com a tal) perquè pensen que és alguna cosa que no hauria d'estar a l'aire si no estigués contaminat. (Thornber et al., 1999)</li> <li>• Pocs estudiants identifiquen que a l'aire hi ha "fuel" provinent dels cotxes que el contamina. Aquests no identifiquen que les partícules que hi ha a l'aire i el contaminen (p.ex. PM) són conseqüència de la combustió d'aquests en els motors de combustió dels cotxes... però no directament el fuel (Thornber et al., 1999)</li> <li>• Molts alumnes identifiquen els CFCs, el diòxid de carboni i el metà com els principals contaminants de l'aire (Skamp et al., 2004)</li> <li>• Els alumnes confonen altres problemes mediambientals globals com: l'efecte hivernacle o el forat de la capa d'ozó, amb la problemàtica local de contaminació atmosfèrica. (Thornber et al., 1999)</li> </ul>
	<b>Fonts de contaminació</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La major part de l'alumnat creu que contaminació té únicament un origen antropocèntric sense tenir en compte que també poden haver factors naturals (p.ex. sorra del desert en suspensió en l'aire en concentracions molt elevades, els fums procedents de l'erupció d'un volcà...). (Skamp et al., 2004; Thornber et al., 1999)</li> <li>• Els estudiants pensen que la contaminació atmosfèrica de les ciutats es pitjor que la contaminació atmosfèrica rural sense tenir en compte que el moviment de l'aire "arrossega" també part de la contaminació des de la font cap a altres llocs (Myers, Boyes, &amp; Stanisstreet, 2000)</li> </ul>
	<b>Efectes de la contaminació</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Els alumnes només identifiquen una relació entre contaminació i malalties respiratòries (p.ex. major risc de patir asma...) però no identifica la relació entre la contaminació i altres tipus de malalties com les cardiovasculars, reproductives...</li> </ul>

	<b>Solucions i accions per minimitzar la contaminació</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sembla que senten que la responsabilitat de reduir la contaminació de l'aire recau més en les empreses que en les persones individualment. (Skamp et al., 2004)</li> </ul>
<b>Estructura de la matèria</b>	<b>Discontinuitat/ Continuïtat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bona part dels estudiants que representen la matèria amb una certa discontinuitat (p.ex. com a grànuls o "partícules") inclouen una estructura subjacent que "aguanta" els grànuls o les "partícules" sense tenir en compte que entre les partícules hi ha buit (Jan Christoph Hadenfeldt et al., 2014; Talanquer, 2020)</li> </ul>
	<b>Escalaes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Els estudiants classifiquen millor les mides de diferents objectes quan es realitza de manera relativa, amb comparació amb altres objectes, que no quan es demana la mida de cada objecte per separat. (Tretter et al, 2006)</li> <li>• La mida d'una persona es mostra com la referència més clara i consistent per tots els participants, establint un referent universal. (Tretter et al, 2006; Gerlach et al. 2014)</li> <li>• Per l'escala més petita que una persona l'alumnat no té una referència clara, mentre que la gent adulta tendeix a utilitzar una formiga o un gra d'arròs per marcar entre una escala petita i una molt petit, i una categoria addicional microscòpica. (Tretter et al, 2006)</li> <li>• Existeix una gran polisèmia en l'ús de la paraula "partícula" la qual designa petites parts d'una substància (p.ex. partícules de pols), àtoms i molècules (p.ex. partícules de CO<sub>2</sub>) com també partícules subatòmiques (p.ex. partícules subatòmiques anomenades nucleons) (Blanco i Prieto, 1996; Taber, 2013; Solé et al. 2019; Solé et al. in press)</li> <li>• Sovint l'alumnat només parla de la contaminació a escala macroscòpica, és a dir, basant-se en allò que són capaços d'observar directament, però no pensen en el fenomen en la mesoescala o la escala atòmic-molecular tot i que utilitzar les diferents escales és important perquè ajuda a entendre la problemàtica i buscar solucions adequades (Solé et al 2020)</li> <li>• Tot i que l'alumnat reconeix l'existència de gasos com els CFCs no necessàriament reconeixen aquests com a partícules submicroscòpiques (Skamp et al., 2004)</li> <li>• L'alumnat sovint atribueix propietats macroscòpiques de les partícules (p.ex. el seu color...) a les partícules a nivell atòmic-molecular (Furió, Solbes i Carrascosa; 2006).</li> <li>• Molts alumnes consideren que amb el instruments adequats els àtoms es poden veure i, per tant, creuen que els i les científiques han estat capaços de veure'ls (Harrison i Treagust, 2002)</li> </ul>

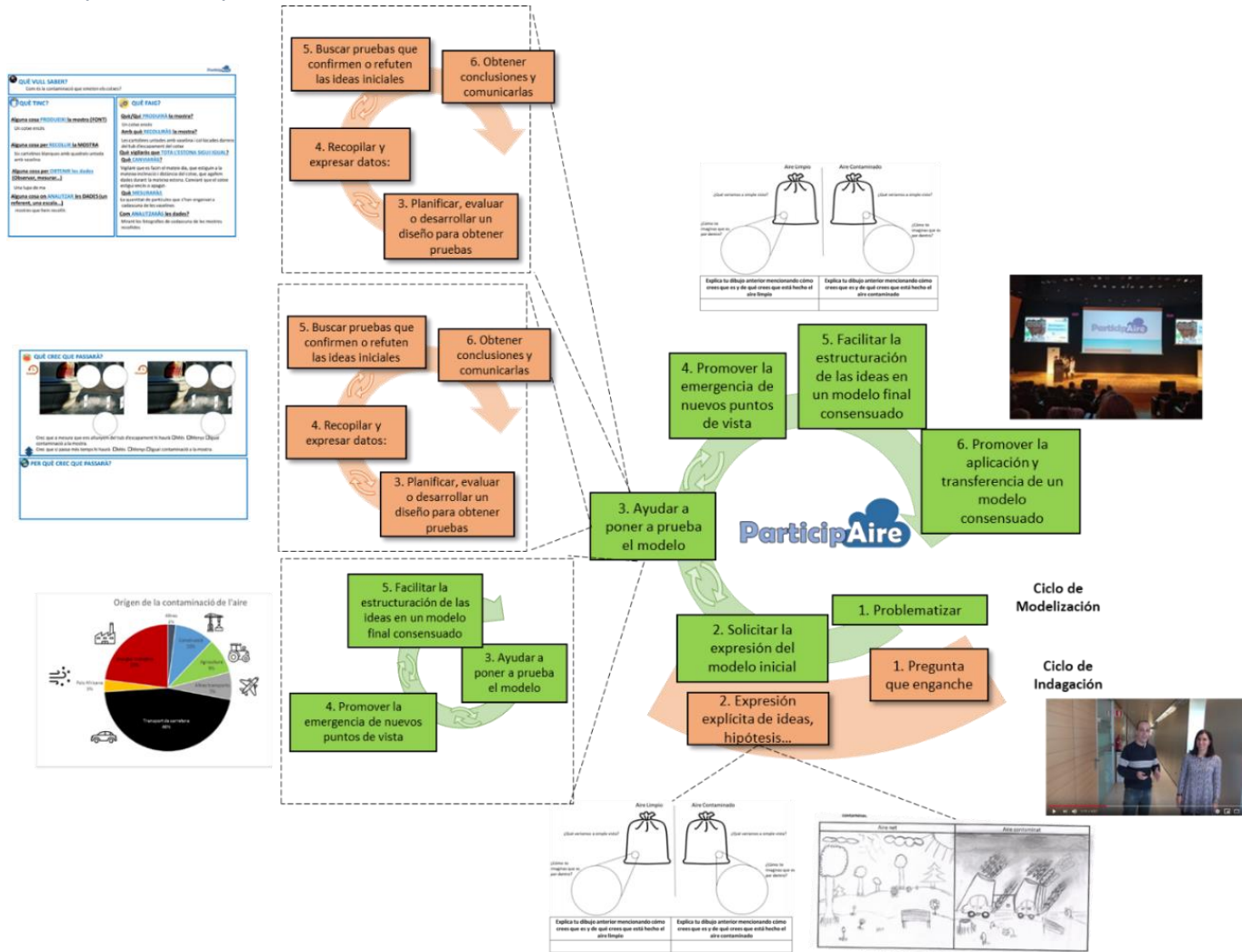
### Annex 3.3. Cicles de modelització i indagació en cadascun dels prototips

---

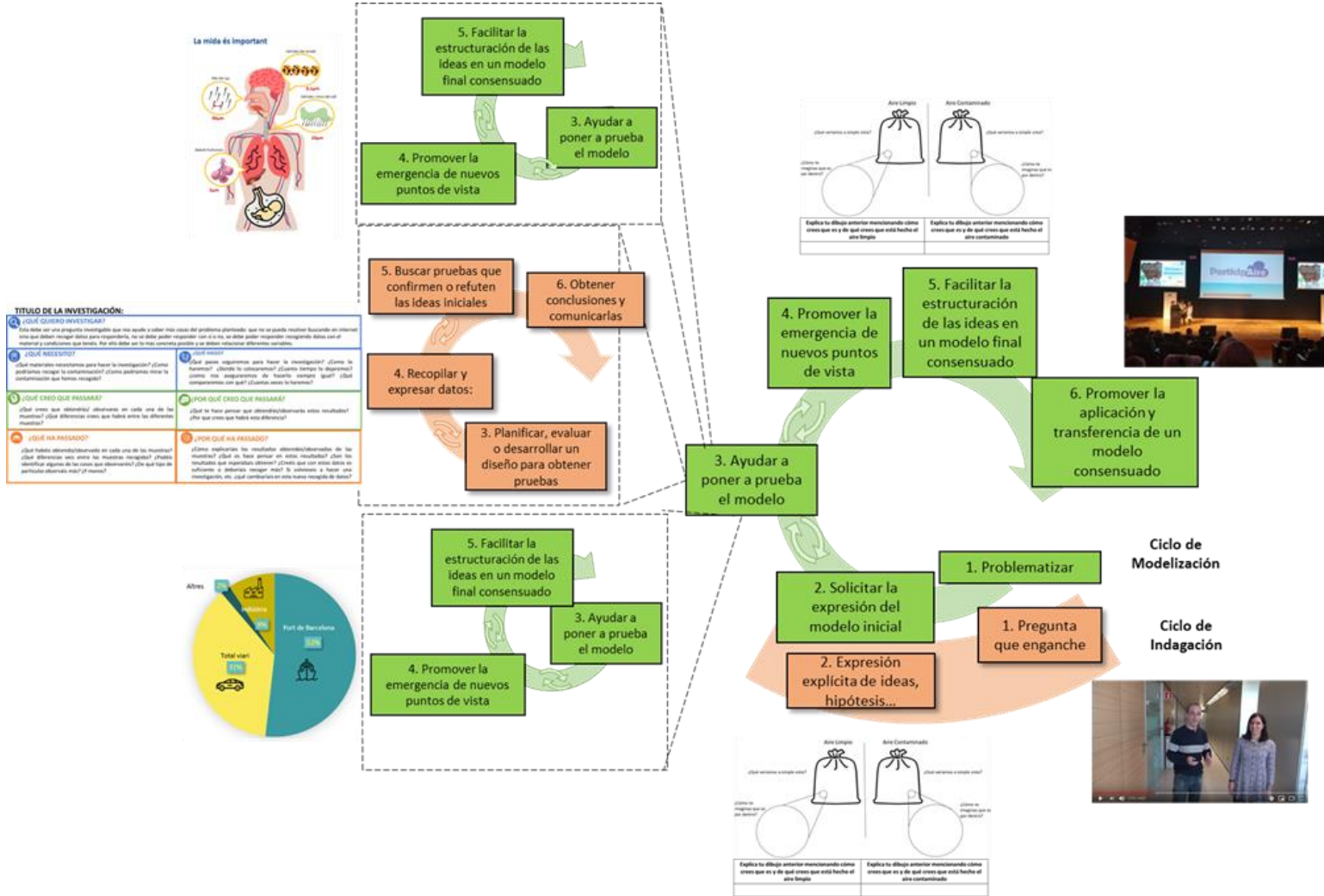
Els cicles de modelització (Couso, 2020 basat en Couso & Garrido-Espeja, 2017; de color verd a les figures) i indagació (Jiménez-Liso, 2020; de color taronja a les figures) han estat dues eines de disseny clau per a la seqüenciació dels diferents prototips de la SEA/DI.

A continuació es mostra la seqüenciació de la SEA/DI relacionat les fases dels diferents cicles mencionats amb les activitats en cadascun dels prototips (prototip 2-4). En verd es representen les fases relacionades amb el cicle de modelització i en taronja les fases del cicle d'indagació. Entre les figures següents no s'inclou el prototip 1 ja que la seva seqüenciació s'ha estructurat en funció de les fases del cicle d'aprenentatge de (Jorba & Sanmartí, 1994).

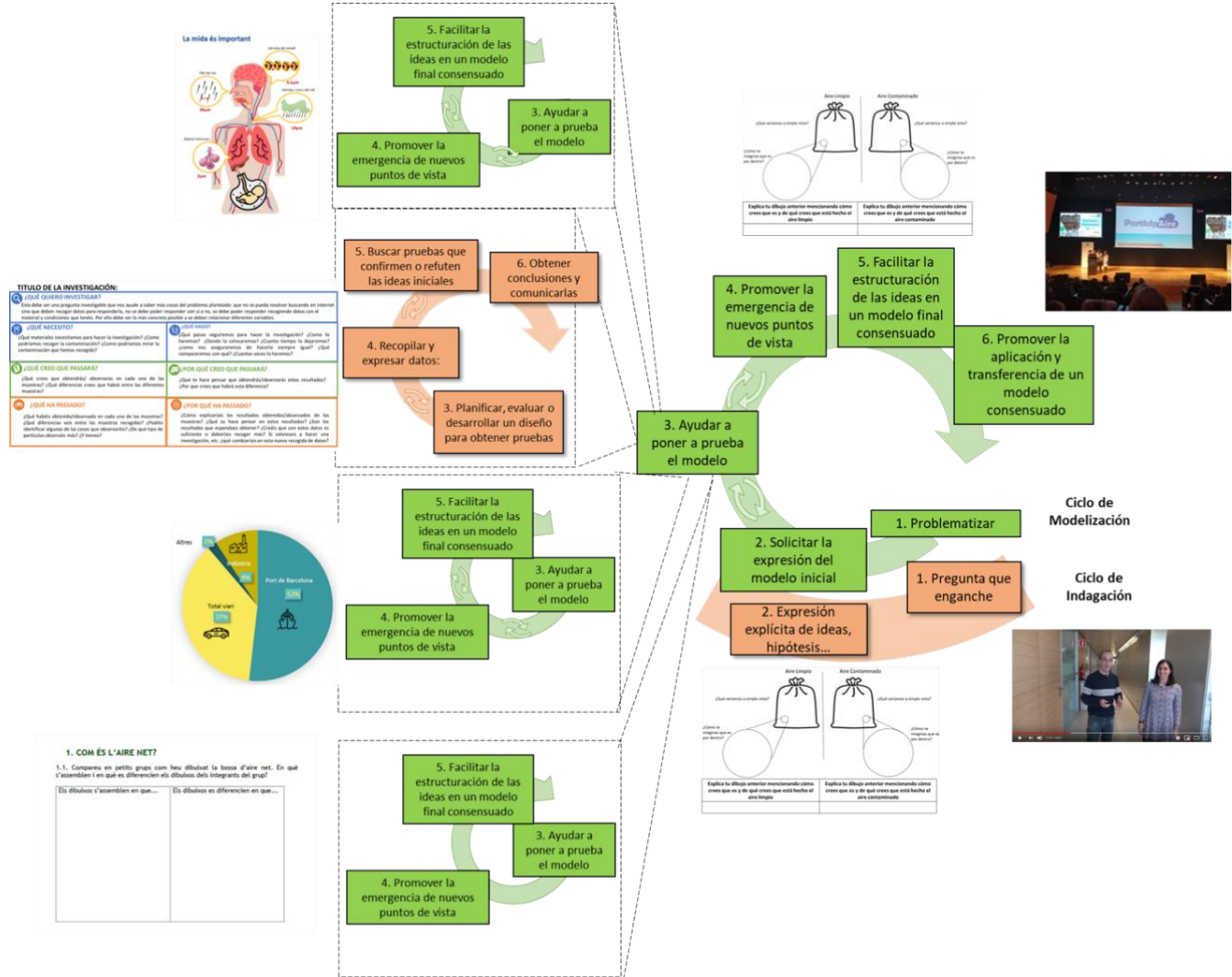
# Seqüenciació del Prototip 2: ParticipAire (curs 2018-19)



### Seqüenciació del Prototip 3: Microxarxa Escola Respira (curs 2019-20)



# Seqüenciació del prototip 4: ICE-Volem ser científiques i enginyeres (curs 2021-22)







## **ANNEX 4. ANNEX A LA SECCIÓ 5**

### **Annex 4.1. Annex del Estudi 1. Anàlisi de la qualitat de la SEA/DI en termes de de validesa i utilitat**

#### **Annex. 4.1.1. Instruments de recollida de dades per a l'avaluació de la practicitat**

A continuació s'adjunten els qüestionaris utilitzats per avaluar la utilitat de la SEA/DI en termes de practicitat. Concretament, es troba l'estructura i les preguntes concretes que s'han fet a l'alumnat i als docents tant abans d'involucrar-se a la SEA/DI (pre) com un cop aquests han participat en ella (post).

Tots aquests qüestionaris així com la seva fonamentació teòrica formen part de la publicació: Tena, È. y Couso, D. (2018). Compendio de herramientas para evaluar el impacto de iniciativas de investigación científica para alumnado de educación Primaria con perspectiva RRI. DDD-UAB, Barcelona. <https://ddd.uab.cat/record/210969>

# Qüestionaris pre i post de l'alumnat

## Qüestionari pre

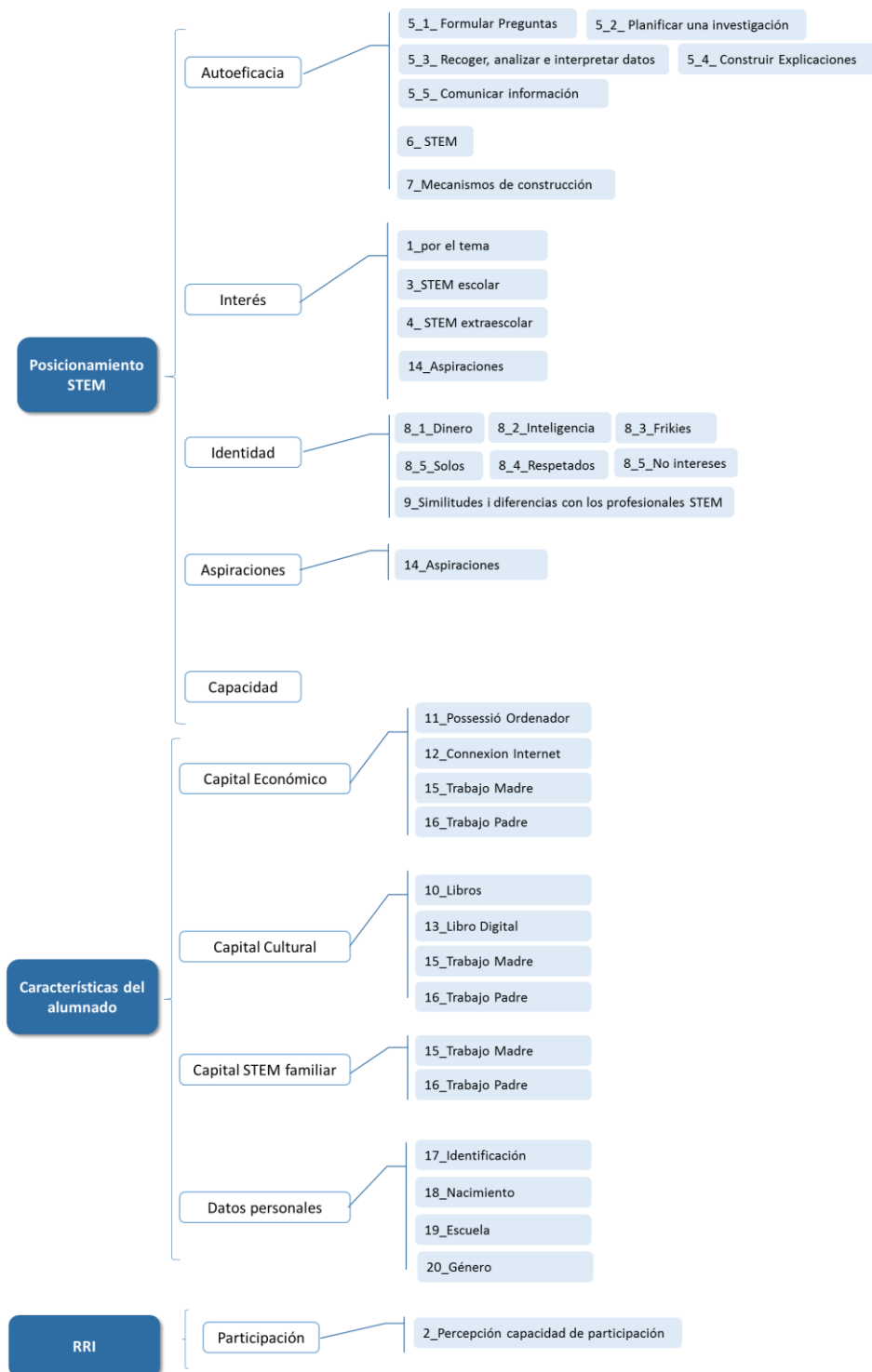






















Figura 27. Estructura del qüestionair pre de l'alumnat

## CUESTIONARIO PARTICIPAIRE PREVIO PARA ALUMNADO

Queremos saber cuánto se aprende en este proyecto y es por eso que antes de empezarlo te pedimos que contestes sinceramente a las siguientes preguntas.

- ¿Te gustaría aprender cosas sobre contaminación?  
 Nada   Poco   Un poco   Mucho 
- ¿Crees que puedes hacer alguna cosa para mejorar la calidad del aire de alrededor de tu escuela?  
 Creo que no puedo hacer nada, de esto se tienen que encargar los expertos.  
 Creo que puedo hacer pequeñas acciones individuales pero no tengo claro como empezar.  
 Creo que puedo hacer pequeñas acciones individuales y soy capaz de imaginarme alguna acción.  
 Creo que puedo hacer pequeñas acciones que involucran a otra gente: familia, vecinos...
- ¿Te gusta hacer actividades de ciencias, tecnología y matemáticas a la escuela?  
 Nada   Poco   Un poco   Mucho 
- ¿Te gusta hacer actividades de ciencias, tecnología y matemáticas fuera de la escuela (visitar museos, mirar youtubers de ciencias...)?  
 Nada   Poco   Un poco   Mucho 
- En la tabla siguiente hay diversas afirmaciones. Marca con una X la opción con la que estás más de acuerdo en cada una de las filas.

¿Creo que soy capaz de....	Nada capaz 	Poco capaz 	Un poco capaz 	Muy capaz 
Plantear una pregunta que se pueda investigar sobre la contaminación del aire?				
Planificar y hacer una investigación sobre la contaminación del aire?				
Recoger datos y entender imágenes y gráficos sobre la contaminación del aire?				
Dar explicaciones sobre cómo es la contaminación del aire y quién la produce?				
Comunicar una investigación sobre contaminación que yo haya hecho?				

- En general, ¿cómo crees que se te dan las ciencias, la tecnología y las matemáticas?  
 Muy mal   Mal   Bien   Muy bien 
- ¿Qué te lo hace pensar?  






---



---



---
- Di hasta qué punto estás de acuerdo con las siguientes afirmaciones.

Las personas que se dedican a la ciencia...	Nada de acuerdo 	Poco de acuerdo 	Un poco de acuerdo 	Muy de acuerdo 
... ganan mucho dinero				
... son muy inteligentes				
... son raritos, un poco frikis, nerds,...				
... son personas respetadas en su entorno				
... trabajan solos/as la mayoría del tiempo				
... no tienen otros intereses que la ciencia				

9. ¿Las personas que se dedican a la ciencia, la tecnología o las matemáticas se parecen a ti? ¿En que sí se parecen? ¿En que no se parecen?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

10. ¿Cuántos libros tienes en casa?

- Menos de 10 libros (medio estante)
- Entre 11 y 25 libros (un estante)
- Entre 26 y 100 libros (una estantería)
- Entre 101-200 libros (dos estanterías)
- Más de 200 libros (más de dos estanterías)

11. ¿Tienes ordenador en casa?  Sí  No  No lo sé

12. ¿Tienes internet en casa?  Sí  No  No lo sé

13. ¿Tienes lector de libros electrónicos en casa (ex. Kindle)?

- Sí, y lo utilizo  Sí, pero no lo utilizo  No  No lo sé

14. ¿De qué te gustaría trabajar a ti en un futuro? \_\_\_\_\_

15. ¿De qué trabaja tu madre? \_\_\_\_\_

16. ¿De qué trabaja tu padre? \_\_\_\_\_

17. Nombre y apellidos: \_\_\_\_\_

18. Fecha de nacimiento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

19. El nombre de la mi escuela es: \_\_\_\_\_

20. En este momento como te describes:

- Como un chico  Como una chica  No me identifico ni como chico ni como chica

## Qüestionari post

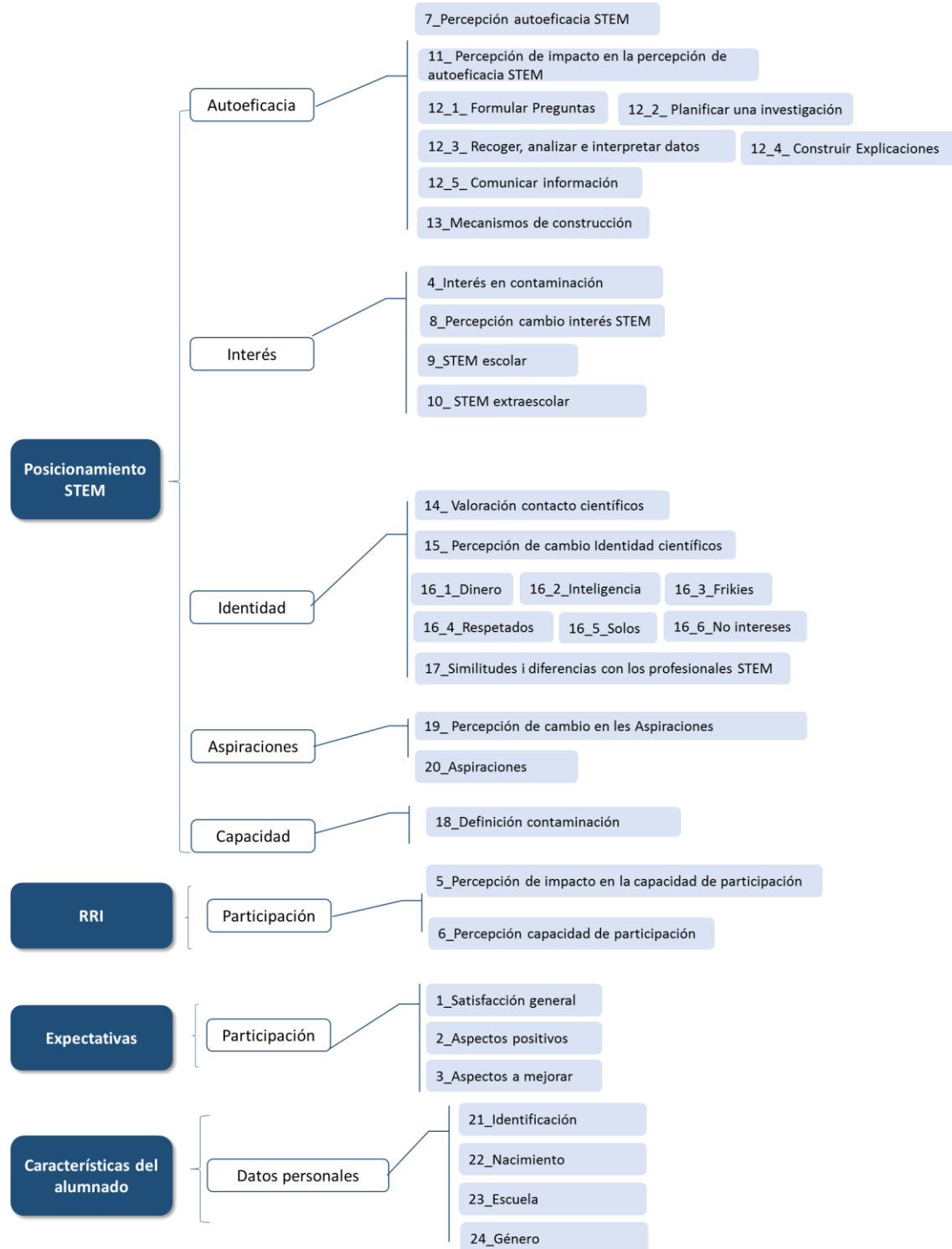


Figura 28. Estructura del qüestionari post de l'alumnat



## CUESTIONARIO PARTICIPAIRE POSTERIOR PARA ALUMNOS

*Durante varios días has estado investigando sobre la contaminación del aire. Queremos saber cuánto se aprende en este proyecto y por eso te pedimos que contestes sinceramente a las siguientes preguntas.*

1. ¿Hasta qué punto te ha gustado participar en este proyecto sobre contaminación del aire?

Nada 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Mucho  
2

2. ¿Qué destacarías de todo lo que has hecho en el proyecto sobre contaminación del aire?

---

---

---





3. ¿Qué cambiarías de todo lo que hemos estado haciendo sobre la contaminación del aire?

---





---

---

4. ¿Te gustaría aprender más cosas sobre contaminación?

Nada   Poco   Bastante   Mucho 

5. Después de participar en este proyecto, ¿crees que eres más capaz de hacer algo para mejorar la calidad del aire de tu escuela?

No, me siento menos capaz que antes   No, me siento igual de capaz que antes   
 Sí, me siento un poco más capaz   Sí, me siento mucho más capaz que antes 





6. ¿Ahora crees que puedes hacer algo para mejorar la calidad del aire de alrededor de tu escuela?

Creo que no puedo hacer nada, de eso se deben encargar los expertos.  
 Creo que puedo hacer pequeñas acciones individuales, pero no tengo claro cómo empezar.  
 Creo que puedo hacer pequeñas acciones individuales y soy capaz de imaginarme alguna acción.  
 Creo que puedo hacer pequeñas acciones que involucren a otra gente: familia, vecinos...






7. ¿Cuál de las siguientes frases describe mejor tu relación con las Ciencias, la Tecnología y las Matemáticas?

La Ciencia, la Tecnología y las Matemáticas no son para mí y no me gustan  
 La Ciencia, la Tecnología y las Matemáticas podrían ser para mí, pero me gustan más otras cosas.  
 La Ciencia, la Tecnología y las Matemáticas pueden ser para mí y me gustan un poco.  
 La Ciencia, la Tecnología y las Matemáticas son para mí y me gustan mucho.






8. ¿Crees que tu experiencia en el proyecto ha hecho aumentar tu interés por el área científica, tecnológica y matemática?

No, me interesan menos que antes   No, me interesan igual que antes   
 Sí, me interesan un poco más que antes   Sí, me interesan mucho más que antes 







9. ¿Te gusta hacer actividades de ciencias, tecnología y matemáticas a la escuela?

- Nada   Poco   Bastante   Mucho  







10. ¿Te gusta hacer actividades de ciencias, tecnología y matemáticas fuera de la escuela (visitar museos, mirar youtubers de ciencias...)?

- Nada   Poco   Bastante   Mucho  

11. ¿Crees que tu participación en el proyecto te ha hecho sentir más capaz de hacer actividades de ciencias, tecnología y matemáticas?

- No, me siento menos capaz que antes    No, me siento igual de capaz que antes   
 Sí, me siento un poco más capaz   Sí, me siento mucho más capaz que antes  

12. En la siguiente tabla hay varias afirmaciones. Marca con una X la opción con la que estás más de acuerdo en cada una de las filas.

¿Creo que soy capaz de...	Nada capaz  	Poco capaz 	Bastante capaz 	Muy capaz  
plantear una pregunta que se pueda investigar sobre la contaminación del aire?				
planificar y hacer una investigación sobre la contaminación del aire?				
recoger datos y entender imágenes y gráficos sobre la contaminación del aire?				
dar explicaciones sobre como es la contaminación del aire y quien la produce?				
comunicar una investigación sobre contaminación que tu hayas hecho?				

13. ¿Qué te lo hace pensar?

---



---









---







14. ¿Cómo valoras el hecho de haber podido tener contacto con los científicos (a través del vídeo, al congreso en CosmoCaixa...)?

No me ha aportado nada    1    2    3    4    5    6    7    8    9    10    Ha estado imprescindible para mí

15. ¿Crees que tu participación en el proyecto ha hecho mejorar cómo te imaginas la vida de las personas que se dedican a la ciencia, la tecnología o las matemáticas?

- No, ahora me gusta menos que antes    No, ahora me gusta igual que antes   
 Sí, ahora me gusta un poco más que antes   Sí, ahora me gusta mucho más que antes  

16. Di hasta qué punto estás de acuerdo con las siguientes afirmaciones.

Las personas que se dedican a la ciencia...	Nada de acuerdo  	Poco de acuerdo 	Bastante de acuerdo 	Muy de acuerdo  
...ganan mucho dinero				
... son muy inteligentes				
... son raritos, un poco frikis, nerds,...				
... son personas respetadas en su entorno				
... trabajan solos/as la mayoría del tiempo				
... no tienen otros intereses que la ciencia				

17. ¿Las personas que se dedican a la ciencia, la tecnología o las matemáticas se parecen a ti? ¿En que sí se parecen? ¿En que no se parecen?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

18. Si tuvieras que explicar a alguien qué es la contaminación, hasta qué punto les afecta y cómo podríamos solucionar este problema, ¿qué le dirías?







\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

19. ¿Crees que tu participación en el proyecto ha hecho que ahora tengas más interés por trabajar en las ciencias, la tecnología o las matemáticas que antes?

- No, me interesan menos que antes         No, me interesan igual que antes 
- Sí, me interesan un poco más que antes        Sí, me interesan mucho más que antes  

20. ¿De qué te gustaría trabajar a ti en un futuro? \_\_\_\_\_

21. Nombre y apellidos: \_\_\_\_\_

22. Fecha de nacimiento: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

23. El nombre de mi escuela es: \_\_\_\_\_

24. En este momento me describo:

- Como un chico     Como una chica     No me identifico ni como un chico ni como una chica

## Qüestionaris pre i post dels docents participants

### Qüestionari pre

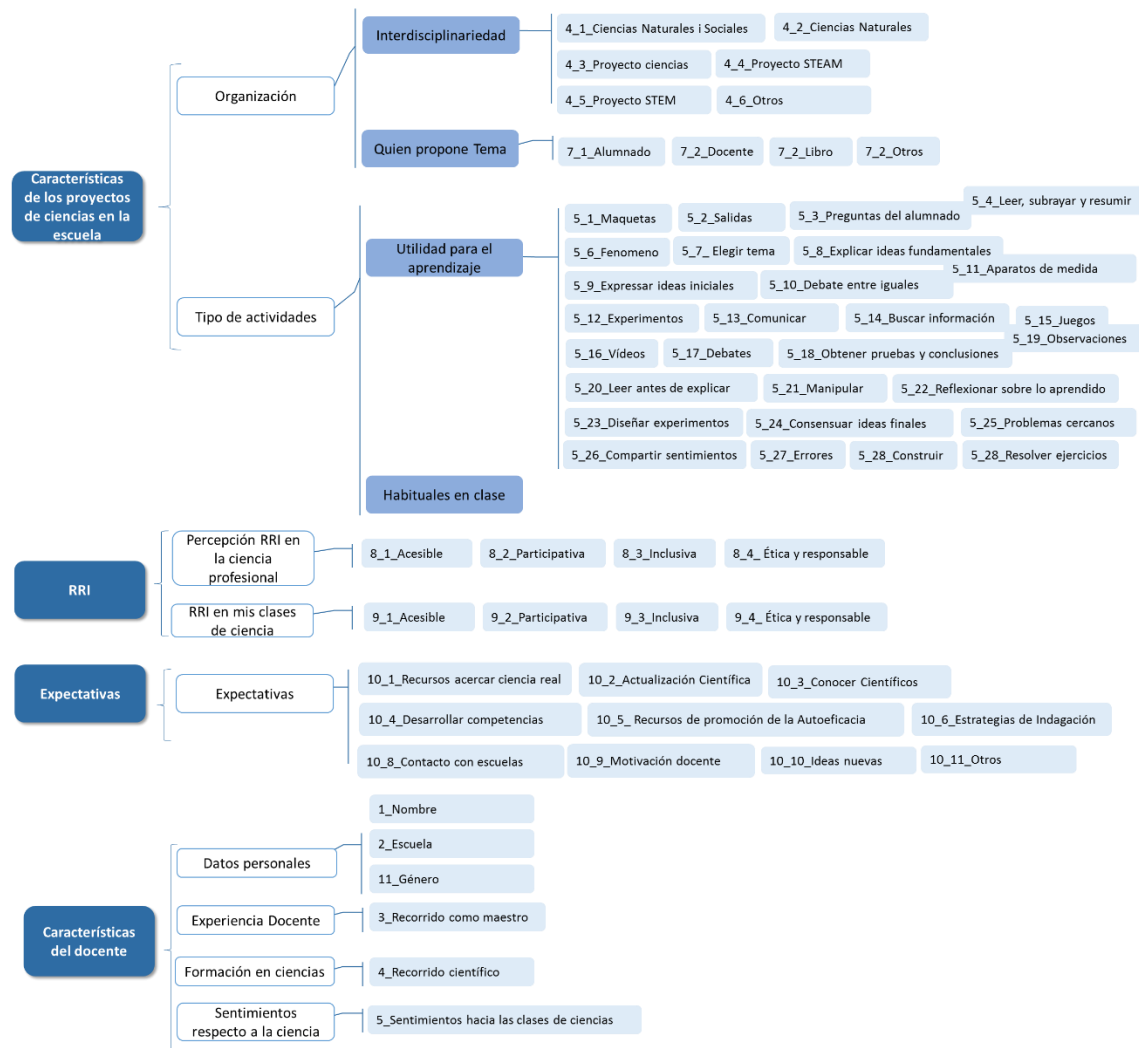


Figura 29. Estructura del qüestionari pre dels docents

## CUESTIONARIO PREVIO PARA DOCENTES

Como sabéis, desde el CRECIM de la UAB estamos impulsando el proyecto ParticipAIRE en el que participaréis con vuestro alumnado. Como parte de este proyecto, queremos conocer un poco más vuestras opiniones sobre la ciencia en general y las clases de ciencia de vuestra escuela en particular. Es por este motivo que os pedimos que respondáis con la máxima sinceridad posible este cuestionario. Las respuestas que deis en el cuestionario serán tratadas de manera totalmente confidencial y en ningún caso repercutirán en vuestra participación en el proyecto.

¡Muchas Gracias por vuestra colaboración!

1.Nombre y apellidos\_\_\_\_\_ 2.Escuela:\_\_\_\_\_

3.¿Cuántos cursos hace que ejerces como docente de primaria? (Selecciona una única respuesta)

- Este es mi primer curso  Entre 4 y 6 cursos  
 Entre 1 y 3 cursos  Más de 6 cursos

4.¿Cuándo fue la última vez que cursaste una asignatura de ciencias (Biología, Química, Física, etc.) en tus estudios? (Selecciona una única respuesta)

- Durante la Primaria o escolaridad obligatoria  Durante el Bachillerato o COU  
 Durante la ESO o BUP  Hice una carrera científica

5. Describe brevemente cómo te sientes respecto a las clases de medio natural: piensa en tu interés, en tus competencias para dar la clase...

---

---

---

---

4. En tu escuela las ciencias experimentales se hacen... (Elige la respuesta que más se ajuste)

- Dentro de la asignatura de medio, juntamente con sociales  
 Dentro de la asignatura de medio, pero separado de sociales  
 Como proyectos solo de ciencias  
 Como proyectos con otras asignaturas (sociales, artes, etc.)  
 Como proyectos con otras asignaturas STEM  
 Otros (especifica tu respuesta):\_\_\_\_\_

**LES CLASSES DE CIÈNCIA**

5. De la lista de actividades que hay a continuación elige las 6 actividades que crees que más ayudan al alumnado a aprender ciencias. Ordena las actividades seleccionadas según su importancia siendo 1 la actividad que consideras que ayuda más y 6 la que ayuda menos.

A1. Utilizar maquetas (cuerpo humano, sistema solar, volcán ...)
A2. Hacer salidas: excursiones, museos, parques científicos, centros de investigación ...
A3. Pedir al alumnado qué preguntas tiene o quiere resolver sobre un tema
A4. Leer, subrayar el libro y hacer resúmenes del contenido
A5. Poner ejemplos a los alumnos
A6. Empezar presentando un fenómeno que aún no saben explicar
A7. Dejar al alumnado elegir el tema que quiere trabajar
A8. Explicar con claridad al alumnado las ideas fundamentales del tema
A9. Pedir al alumnado que exprese sus ideas iniciales al abordar un fenómeno
A10. Pedir al alumnado que compare y discuta la adecuación de sus ideas con las de sus compañeros
A11. Utilizar aparatos de medida (lupas, sensores, microscopios ...)
A12. Hacer experimentos
A13. Fomentar que el alumnado comparta sus investigaciones con familias, otros alumnos ...
A14. Pedir al alumnado que busque información
A15. Hacer juegos
A16. Ver películas, documentales, vídeos del youtube ...
A17. Realizar debates sobre temas de interés
A18. Ayudar al alumnado a obtener pruebas y conclusiones que les permitan evaluar sus propias ideas
A19. Hacer observaciones del entorno: árboles, flores, mascotas ...
A20. Pedir al alumnado que lea los apuntes o el libro antes de las explicaciones
A21. Manipular objetos
A22. Reflexionar con los alumnos sobre lo aprendido y extraer conclusiones
A23. Diseñar con el alumnado experiencias para buscar pruebas para confirmar o rechazar una idea
A24. Estructurar las ideas del alumnado para llegar a un consenso final
A25. Relacionar el que se estudia con un fenómeno y problemas cercanos
A26. Compartir como nos sentimos
A27. Detectar errores del alumnado, comentarlos y corregirlos
A28. Plantear con el alumnado la construcción de algún objeto
A29. Resolver ejercicios



6. De la lista de actividades anteriores, selecciona aquellas 4 actividades que haces más a menudo en clase de medio natural con tu alumno de primaria (apunta los códigos a continuación):

--	--	--	--

7. En mis clases de medio natural... (elige la respuesta que más se ajuste)

- Mayoritariamente los temas que trabajamos los proponen los niños o niñas
- Mayoritariamente los temas que trabajamos los propongo yo como docente
- Mayoritariamente el tema que trabajamos lo plantea el libro de texto
- Otros (especifica tu respuesta): \_\_\_\_\_

### LA CIÈNCIA

8. En qué medida consideras que la ciencia profesional es... (marca con una X una respuesta por fila)

	Nada	Poco	Bastante	Mucho	No lo sé
Accesible (es fácil tener información científica comprensible y actualizada sobre las investigaciones que se están haciendo actualmente).					
Participativa (la ciudadanía puede involucrarse en algunas fases de proyectos científicos como ayudar a recoger datos, tomar decisiones ...)					
Inclusiva (en la construcción de la ciencia participan personas de todas las razas y géneros y la ciencia que se hace es para todas las personas independientemente de su género, raza ...)					
Ética y responsable (la ciencia que se hace está pensada para dar respuesta a los problemas de la ciudadanía y tiene en cuenta los impactos que puede tener en los ciudadanos)					



9. En qué medida consideras que la ciencia que haces en el aula promueve...

Una visión de la ciencia...	Nada	Poco	Bastante	Mucho	No lo sé
Accesible (es fácil tener información científica comprensible y actualizada sobre las investigaciones que se están haciendo actualmente).					
Participativa (la ciudadanía puede involucrarse en algunas fases de proyectos científicos como ayudar a recoger datos, tomar decisiones ...)					
Inclusiva (en la construcción de la ciencia participan personas de todas las razas y géneros y la ciencia que se hace es para todas las personas independientemente de su género, raza ...)					
Ética y responsable (la ciencia que se hace está pensada para dar respuesta a los problemas de la ciudadanía y tiene en cuenta los impactos que puede tener en los ciudadanos)					

**¿QUÉ ESPERAS DEL PROYECTO?**

10. ¿Qué esperas del proyecto? (elige un máximo de 3 respuestas)

- Acceder a recursos que me permitan acercar la ciencia real al alumnado
- Actualizar mi conocimiento científico
- Conocer científicos en activo
- Estrategias para desarrollar las competencias científicas de mi alumnado
- Estrategias para hacer que mi alumnado se sienta capaz de hacer ciencias
- Estrategias para llevar a cabo una investigación científica con el alumnado
- Crear red con otras escuelas y profesionales
- Añadir motivación en mí día a día como docente
- Adquirir nuevas ideas para enriquecer mis propuestas educativas
- Otros (especifica tu respuesta): \_\_\_\_\_

**UN POCO MÁS DE MI**

11. ¿Con qué género te identificas más? (selecciona una única respuesta)

- Femenino
- Masculino
- Ni femenino ni masculino

## Qüestionari Post

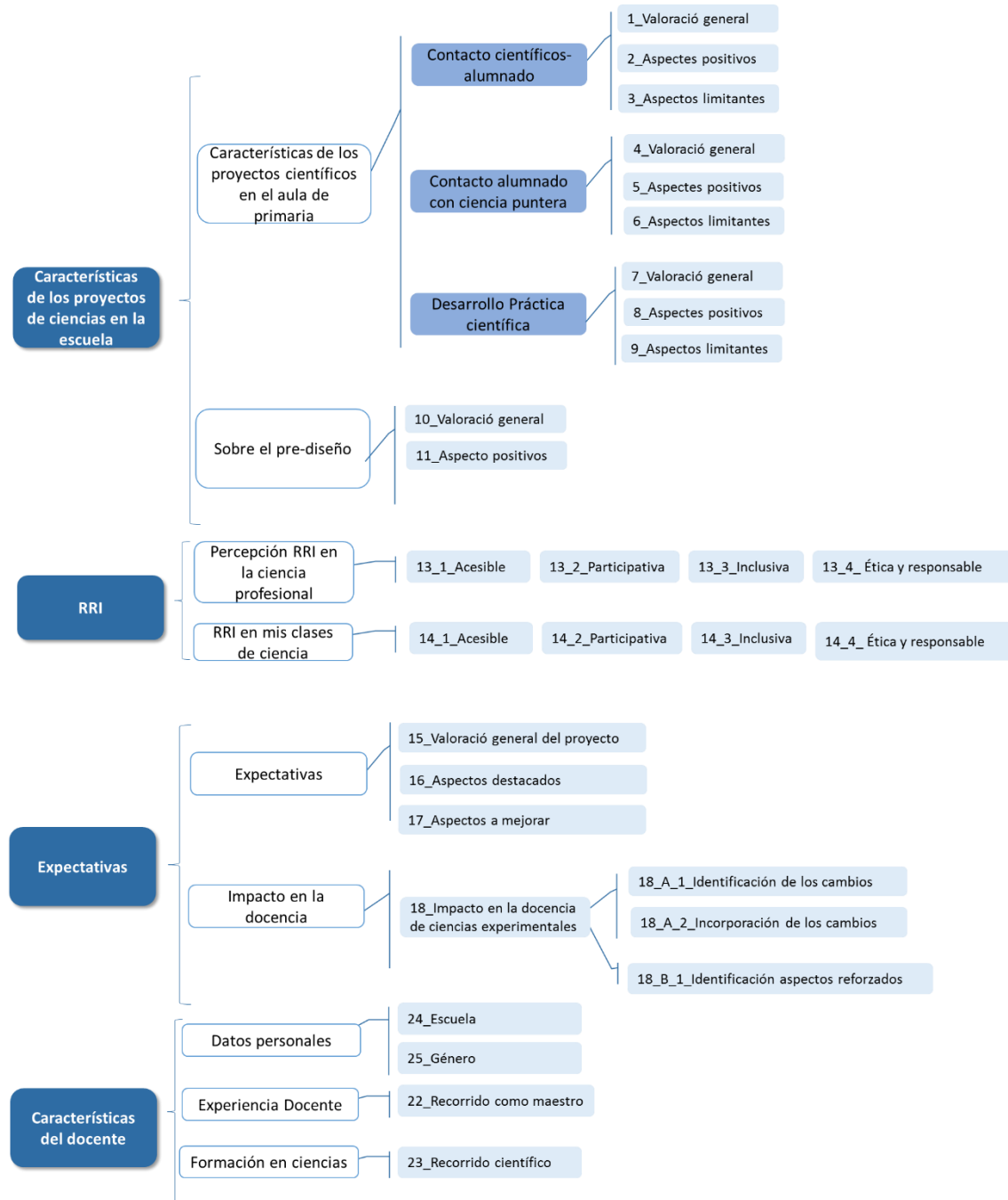


Figura 30. Estructura del qüestionari post dels docents



## CUESTIONARIO POSTERIOR PARA DOCENTES

---

Como sabéis desde el CRECIM de la UAB hemos impulsado el proyecto ParticipAIRE en el que ha participado con su alumnado. Para hacer la valoración adecuada y mejorarlo, queremos conocer un poco más vuestra opinión sobre el proyecto ParticipAIRE y los cambios que haya implicado en las clases de ciencia de su escuela en particular. Es por eso que le pedimos que responda con la máxima sinceridad posible este cuestionario. Las respuestas que dé el cuestionario serán tratados de manera totalmente confidencial y en ningún caso repercutirán en su participación en el proyecto.

Muchas Gracias por su colaboración!

---

### SOBRE EL PROYECTO PARTICIPAIRE

1. ¿Cómo valoras el contacto directo con científicos y científicas profesionales del proyecto ParticipAIRE (p.ej. el vídeo o charla inicial, su participación en el congreso...)?

- Es un aspecto esencial para los proyectos de ciencias que hacemos en el aula.  
 Es un aspecto importante para los proyectos de ciencias que hacemos en el aula.  
 Es un aspecto que aporta, pero no es esencial para los proyectos de ciencias que hacemos en el aula.  
 No creo que aporte mucho a los proyectos de ciencias que hacemos en el aula.

2. ¿Qué crees que ha aportado a tu alumnado el contacto con los científicos?  
 Menciona 3 aspectos diferentes.

---



---



---

3. ¿Qué limitaciones crees que tiene el contacto con los científicos y científicas profesionales?

---



---



---

4. ¿Cómo valorarías temas de ciencia puntera (problemas científicos que se están investigando ahora) en el aula de primaria?

- Es un aspecto esencial para los proyectos de ciencias que hacemos en el aula.  
 Es un aspecto importante para los proyectos de ciencias que hacemos en el aula.  
 Es un aspecto que aporta, pero no es esencial para los proyectos de ciencias que hacemos en el aula.  
 No creo que aporte mucho a los proyectos de ciencias que hacemos en el aula.

5. ¿Qué crees que ha aportado a tu alumnado trabajar temas de ciencia puntera? Menciona 3 aspectos diferentes.

---

---

---

6. ¿Qué limitaciones crees que tiene trabajar temas de ciencia puntera en el aula?

---

---

---

7. ¿Cómo valorarías el fomento de la participación del alumnado en las prácticas científicas (pensar preguntas y diseños experimentales, hacer hipótesis y predicciones, recoger datos y representarlos gráficamente...) en el aula de primaria?

- Es un aspecto esencial para los proyectos de ciencias en el aula.  
 Es un aspecto importante para los proyectos de ciencias en el aula.  
 Es un aspecto que aporta, pero no es esencial para los proyectos de ciencias en el aula.  
 No creo que aporte mucho a los proyectos de ciencias en el aula.

8. ¿Qué crees que ha aportado a tu alumnado involucrarse en hacer ciencias en el aula? Menciona 3 aspectos diferentes.

---

---

---

9. ¿Qué limitaciones crees que tiene involucrar al alumnado de primaria en hacer ciencias en el aula?

---

---

---

10. ¿Cómo valorarías el uso de material didáctico prediseñado y adaptable para guiar a los docentes de primaria en los proyectos de ciencias?

- Es un aspecto esencial para los proyectos de ciencias en el aula.  
 Es un aspecto importante para los proyectos de ciencias en el aula.  
 Es un aspecto que aporta, pero no es esencial para los proyectos de ciencias en el aula.  
 No creo que aporte mucho a los proyectos de ciencias en el aula.



11. ¿Qué crees que te aporta el uso de material didáctico prediseñado y adaptable en los proyectos de ciencias?

---



---



---

12. ¿Qué limitaciones crees que tiene el uso de material didáctico prediseñado y adaptable en los proyectos de ciencias?

---



---



---

### SOBRE LA CIÈNCIA

13. ¿En qué medida consideras que la ciencia profesional es...? (marca con una X una respuesta por fila)

	Nada	Poco	Bastante	Mucho	No lo sé
Accesible (es fácil tener información científica comprensible y actualizada sobre las investigaciones que se están haciendo actualmente).					
Participativa (la ciudadanía puede involucrarse en algunas fases de proyectos científicos como ayudar a recoger datos, tomar decisiones...)					
Inclusiva (en la construcción de la ciencia participan personas de todas las razas y géneros y la ciencia que se hace es para todas las personas independientemente de su género, raza...)					
Ética y responsable (la ciencia que se hace está pensada para dar respuesta a los problemas de la ciudadanía y tiene en cuenta los impactos que puede tener en los ciudadanos y ciudadanas)					



14. ¿En qué medida consideras que el proyecto ParticipAIRE ha promovido una visión de la ciencia...?

	Nada	Poco	Bastante	Mucho	No lo sé
Accesible (es fácil tener información científica comprensible y actualizada sobre las investigaciones que se están haciendo actualmente).					
Participativa (la ciudadanía puede involucrarse en algunas fases de proyectos científicos como ayudar a recoger datos, tomar decisiones...)					
Inclusiva (en la construcción de la ciencia participan personas de todas las razas y géneros y la ciencia que se hace es para todas las personas independientemente de su género, raza...)					
Ética y responsable (la ciencia que se hace está pensada para dar respuesta a los problemas de la ciudadanía y tiene en cuenta los impactos que puede tener en los ciudadanos y ciudadanas)					

**¿QUÉ TE HA PARECIDO EL PROYECTO?**

15. ¿Hasta qué punto crees que el proyecto ha satisfecho tus expectativas?

- Nada       Poco       Bastante       Mucho

16. ¿Qué 3 aspectos del proyecto ParticipAIRE destacarías como los mejores?

17. ¿Qué 3 aspectos del proyecto ParticipAIRE crees que deben mejorar o has echado de menos?

18. Participar en este proyecto ha hecho replantearte algún aspecto de tus clases de medio (por ejemplo la forma en que planificar las sesiones de medio, el tipo de actividades que propones, el orden en las actividades, el papel que deben tener los alumnos, la capacidad de los niños y niñas de hacer ciencias, etc.)?

- Sí (preguntas 22 y 23)       No (pregunta 24)

19. ¿Qué aspectos de tus clases de medio te has replanteado exactamente?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



20. ¿Cómo incorporarás aquello que hayas aprendido o te hayas replanteado participando al ParticipAIRE en tus clases de medio? Pon un ejemplo.

---



---



---

21. ¿Qué aspectos de tus clases de medio se han reforzado en participar en el proyecto ParticipAIRE? Pon un ejemplo.

---



---



---

### UN POCO MÁS DE MÍ

22. ¿Cuántos cursos hace que ejerces como docente de primaria? (selecciona una única respuesta)

- Éste es mi primer curso
  Entre 4 y 6 cursos  
 Entre 1 y 3 cursos
  Más de 6 cursos

23. ¿Cuándo fue la última vez que cursaste una asignatura de ciencias (Biología, Química, Física, etc.) en tus estudios? (selecciona una única respuesta)

- Durante la Primaria o escolaridad obligatoria
  Durante el Bachillerato o COU  
 Durante la ESO o BUP
  Hice una carrera científica

24. Escuela: \_\_\_\_\_

25. ¿Con qué género te identificas más? (selecciona una única respuesta)

- Femenino  
 Masculino  
 Ni femenino ni masculino

## Annex 4.1.2. Instruments de recollida de dades per a l'avaluació de la productivitat

---

### *Qüestionaris posteriors dels docents no participants*

#### **IDEES FINALS SOBRE INVESTIGACIÓ A L'AULA DE CIÈNCIES. 7 CONGRÉS DE CIÈNCIA**

---

Després de la formació volem conèixer com ha canviat la vostra percepció sobre la investigació científica. És per aquest motiu que us demanem que responeu sincerament a les següents preguntes.

Això ens permetrà:

1. Conèixer què heu après al voltant de la indagació a infantil i primària.
2. Identificar les principals dificultats, barreres... que identifiqueu.
3. Investigar les millors formes d'introduir indagació i recerca a les aules.

Al final del qüestionari se us demanaran algunes dades personals (nom de l'escola, curs...), aquestes dades només serviran per poder comparar les vostres idees inicials i finals. Així doncs, el tractament de les vostres respostes es farà de manera totalment anònima i en cap cas es podran relacionar les vostres dades personals amb les vostres respostes.

Els resultats obtinguts d'aquest qüestionari es faran servir exclusivament per al treball de tesi doctoral d'Èlia Tena Gallego que té com a objectiu conèixer les millors formes d'introduir la indagació i recerca científica a les aules d'infantil i primària. Si voleu conèixer més informació sobre la tesi doctoral que s'està duent a terme podeu posar-vos en contacte amb ella mateixa a través del següent correu: [elia.tena@uab.cat](mailto:elia.tena@uab.cat).

Us demanem que responeu sincerament a les següents preguntes. Respondre no us portarà més de 5 min i la teva aportació és molt important per a la recerca educativa.

Moltes Gràcies,

1. Si haguessis d'explicar a un infant de la teva classe què és investigar a l'aula de ciències, què li diries?

---

---

---

2. En quines de les habilitats de fe una investigació científica has tingut més dificultats? (Marca a cada fila la resposta amb la que estiguis més d'acord)

	Cap	Poca	Bastant	Molta	No ho sé
Plantejar preguntes investigables					
Identificar el material necessari per fer una investigació científica					
Descriure els passos que cal seguir per fer una investigació científica					

Identificar les variables que cal canviar, les que volem mesurar i les que volem mantenir					
Identificar quines són les teves prediccions					
Justificar les teves prediccions					
Analitzar i explicar els resultats d'una investigació científica					
Elaborar conclusions dels resultats d'una investigació científica					

3. Què t'ho fa pensar?

---



---



---

4. En quines de les habilitats de fer una investigació científica creus que tindrà més dificultats el teu alumnat ?

	Cap	Poca	Bastant	Molta	No ho sé
Plantejar preguntes investigables					
Identificar el material necessari per fer una investigació científica					
Descriure els passos que cal seguir per fer una investigació científica					
Identificar les variables que cal canviar, les que volem mesurar i les que volem mantenir					
Identificar quines són les seves prediccions					
Justificar les seves prediccions					
Analitzar i explicar els resultats d'una investigació científica					
Elaborar conclusions dels resultats d'una investigació científica					

5. Què et fa pensar que aquestes seran les habilitats en què tindrà més dificultat?

---



---



---

6. Si haguessis de fer un comentari sobre la plantilla de recerca presentada... què diries?

---



---



---

7. Fins a quin punt et veus capaç de fer que els teus alumnes duguin una investigació científica?

- Gens capaç
- Poc capaç
- Bastant capaç
- Molt capaç

8. Què t'ho fa pensar?

---



---

9. Vols fer algun comentari més sobre la formació, la plantilla...

---



---

10. Quants anys fa que treballes com a docent?

- Menys de 5 anys
- Entre 5 i 10 anys
- Entre 10 i 20 anys
- Més de 20 anys

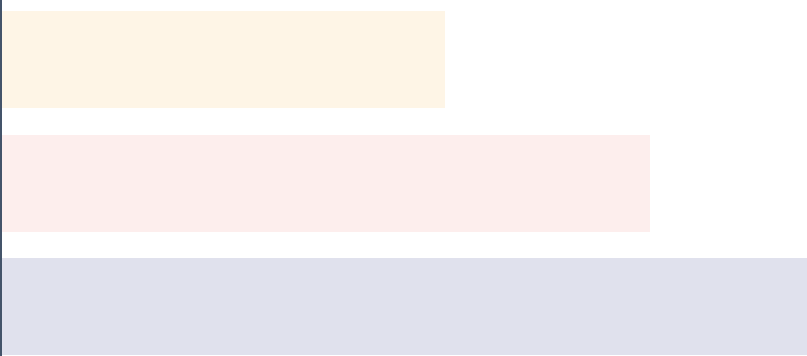
11. Quin és el nom del teu centre? \_\_\_\_\_

12. A quin curs estàs? \_\_\_\_\_

## Annex 4.2. Estudi 2 i 3. Anàlisi de la qualitat de la SEA/DI en termes de confiabilitat

Escola	Grup	Mestra	Data	Sessió	Temàtica	Carpeta	Tipus d'arxiu	Nom de l'arxiu	Comentaris i idees interessants
E1	6A	D2	09.01.2020	Sessió 1	Idees Prèvies	6.Dades; 2019-20_Curs; E1; 6e; 2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies; Idees Prèvies_Individuals	PDF	2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A1	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A2	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A3	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A4	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A5	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A6	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A7	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A8	Absent
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A9	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A10	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A11	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A12	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A13	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A14	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A15	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A16	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A17	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A18	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A19	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A20	
								2020.01.09_E1_6A_S1_IdeesPrèvies_A21	

Figura 31. Fragment de la taula de registre de dades recollides i anònimes



**UAB**

