



# 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 • Publicación: marzo 2023

Tena, E. y Couso, D. (2023). El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(1), 101-123.  
<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-

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 periodo 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

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:

01. 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.
02. 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 semiabierta 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) y la tipología de preguntas (dimensión 2 en la figura 1). Además, se ha añadido una tercera dimen-

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>.

sión 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).

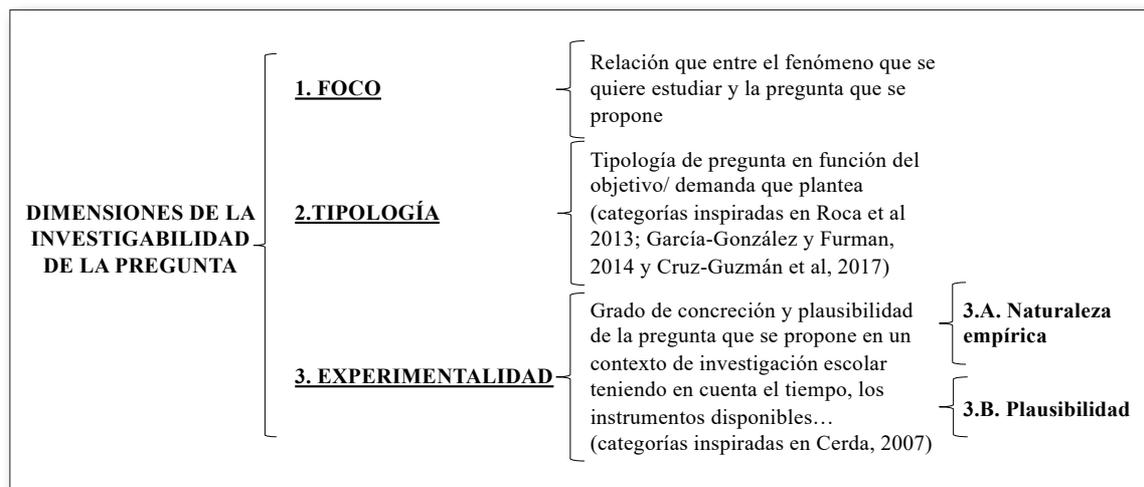


Fig 1. Red sistémica de dimensiones de investigabilidad de la pregunta.

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) “¿Cuantos 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?

DIMENSIÓN		CATEGORÍAS	EJEMPLOS	
INVESTIGABILIDAD DE LAS PREGUNTAS	2. TIPOLOGÍA	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...?, ¿Cuánta...?	“¿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 de 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 huerto?” (M1_E2_G3) “¿Cuánta 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 un 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 huerto?” (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).

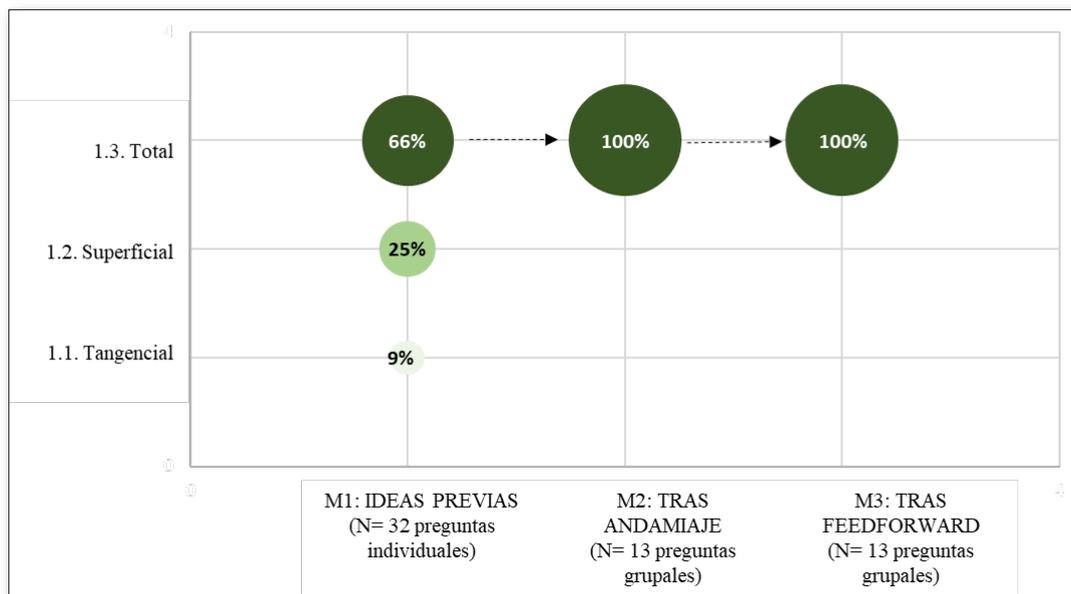


Fig 2. Evolución del foco de la pregunta (eje Y) en las preguntas diseñadas por el alumnado a lo largo de tres momentos de la SEA (eje X). Las flechas discontinuas marcan la tendencia general.

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 y 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).

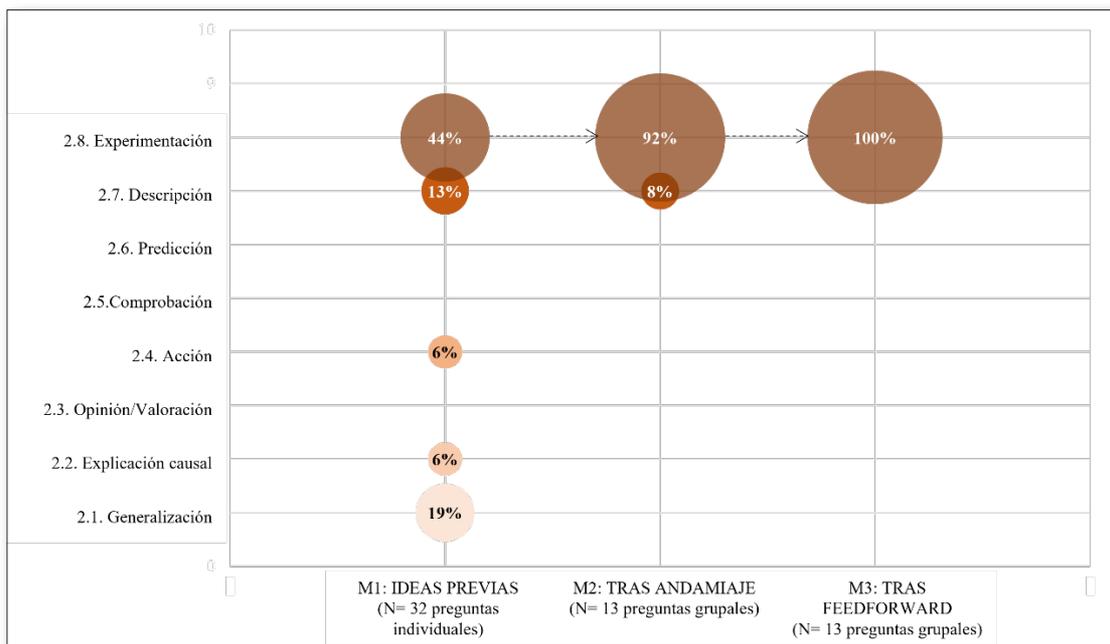


Fig. 3. Evolución de la tipología de preguntas diseñadas por el alumnado (eje Y) a lo largo de tres momentos de la SEA (eje X). Las flechas discontinuas marcan la tendencia general.

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)

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).

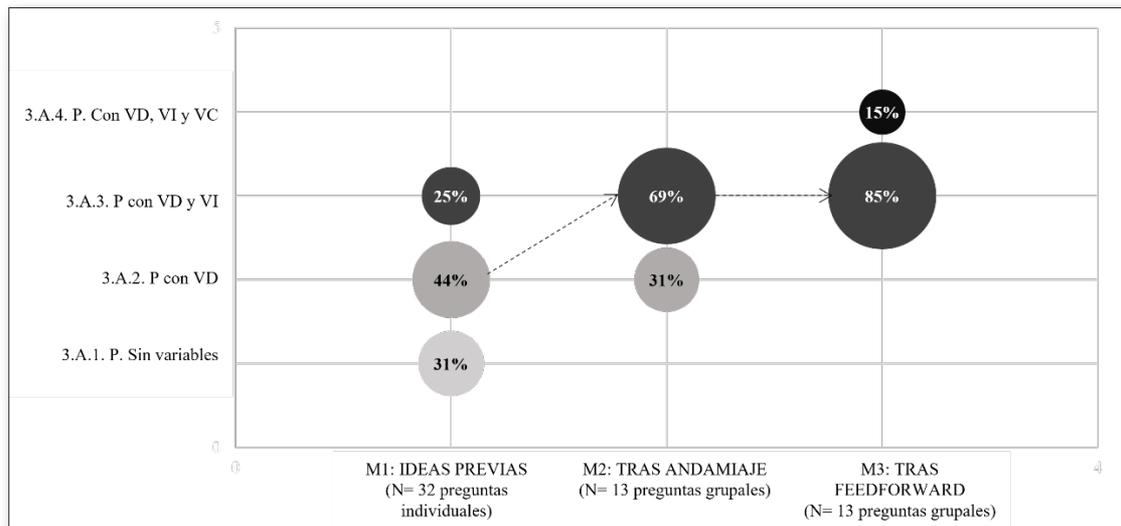


Fig. 4. Evolución de la presencia de variables en las preguntas diseñadas por el alumnado (eje X) a lo largo de tres momentos de la SEA (eje Y). Las flechas discontinuas marcan la tendencia general.

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).

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)

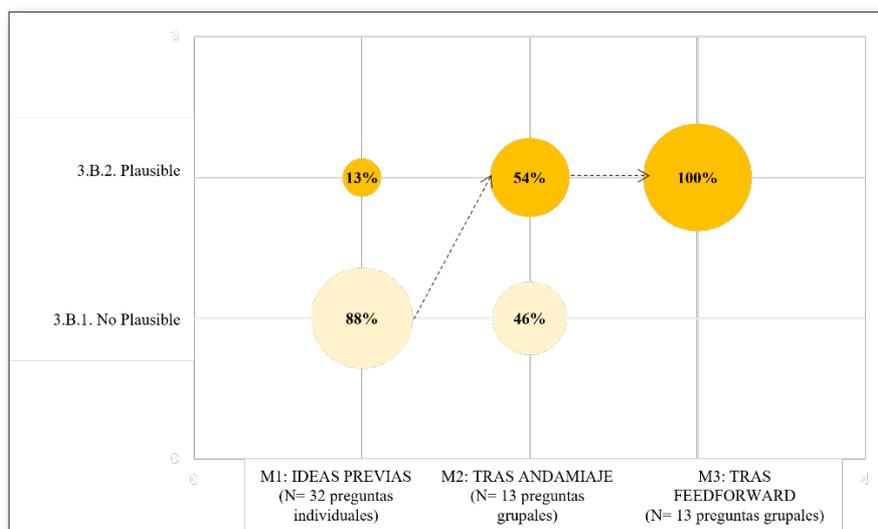


Fig.5. Evolución de la plausibilidad de las preguntas diseñadas por el alumnado (eje X) a lo largo de tres momentos de la SEA (eje Y). Las flechas discontinuas marcan la tendencia general.

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.

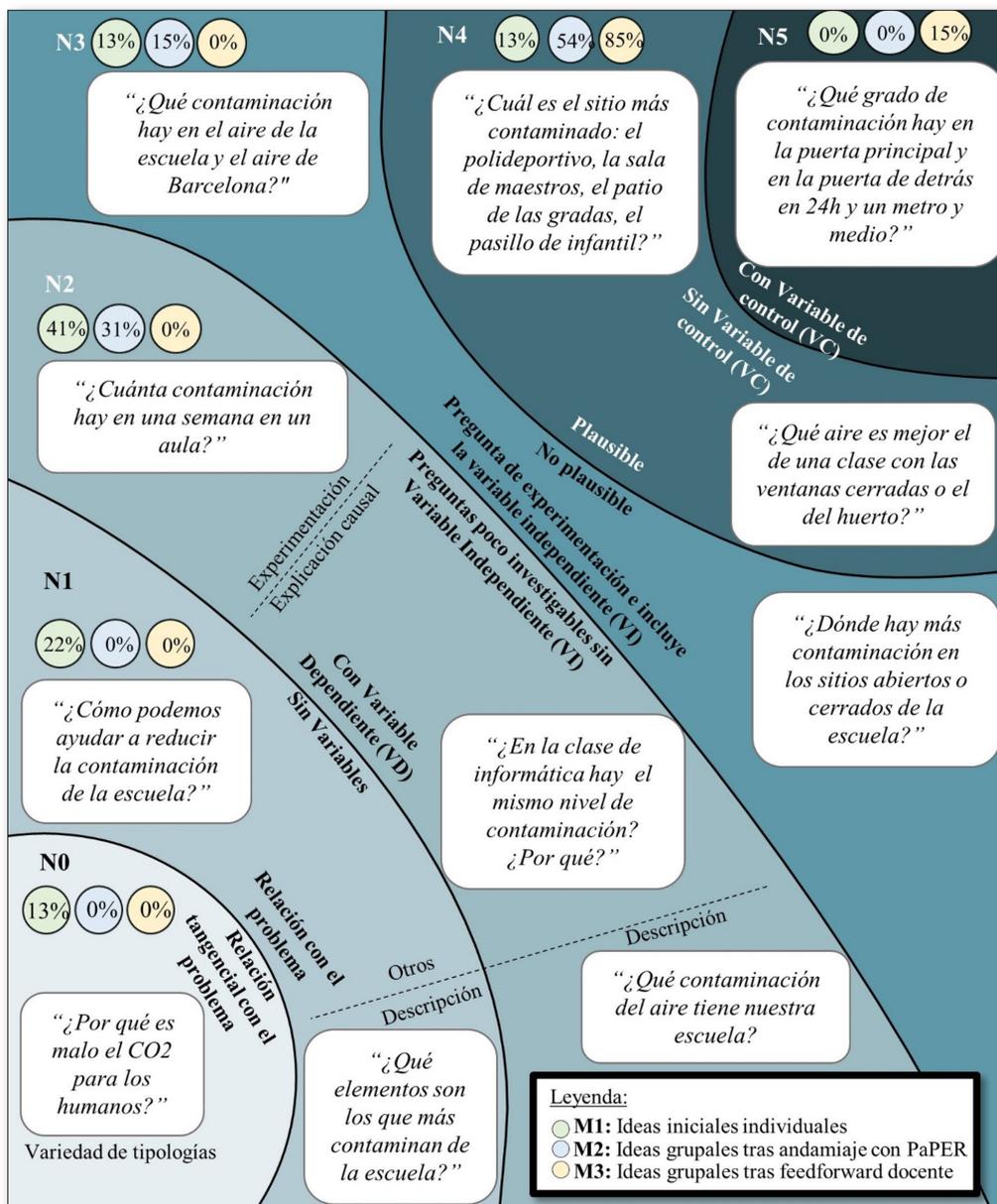


Fig. 6. Mapa de destrezas con los cinco niveles de sofisticación de las preguntas investigables diseñadas por alumnado de primaria.

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).

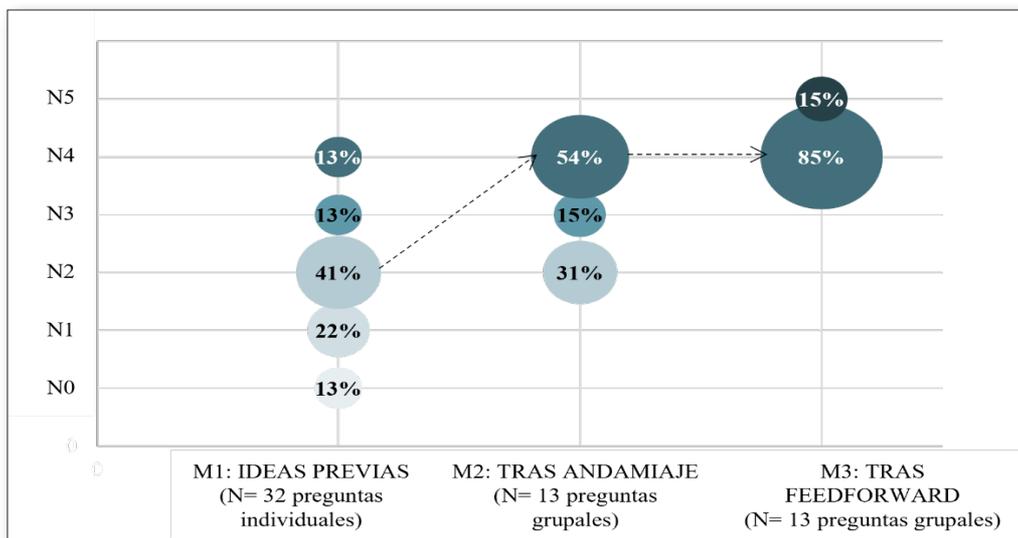


Fig. 7. Evolución del porcentaje de preguntas diseñadas por el alumnado en cada uno de los niveles de sofisticación (eje y) y en cada uno de los momentos de la SEA (eje X). Las flechas discontinuas marcan la tendencia general.

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).

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 (ATENC!Ó): *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.

- 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.<sup>a</sup> 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 Educatione*, 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. *Ápice*, 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

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).

