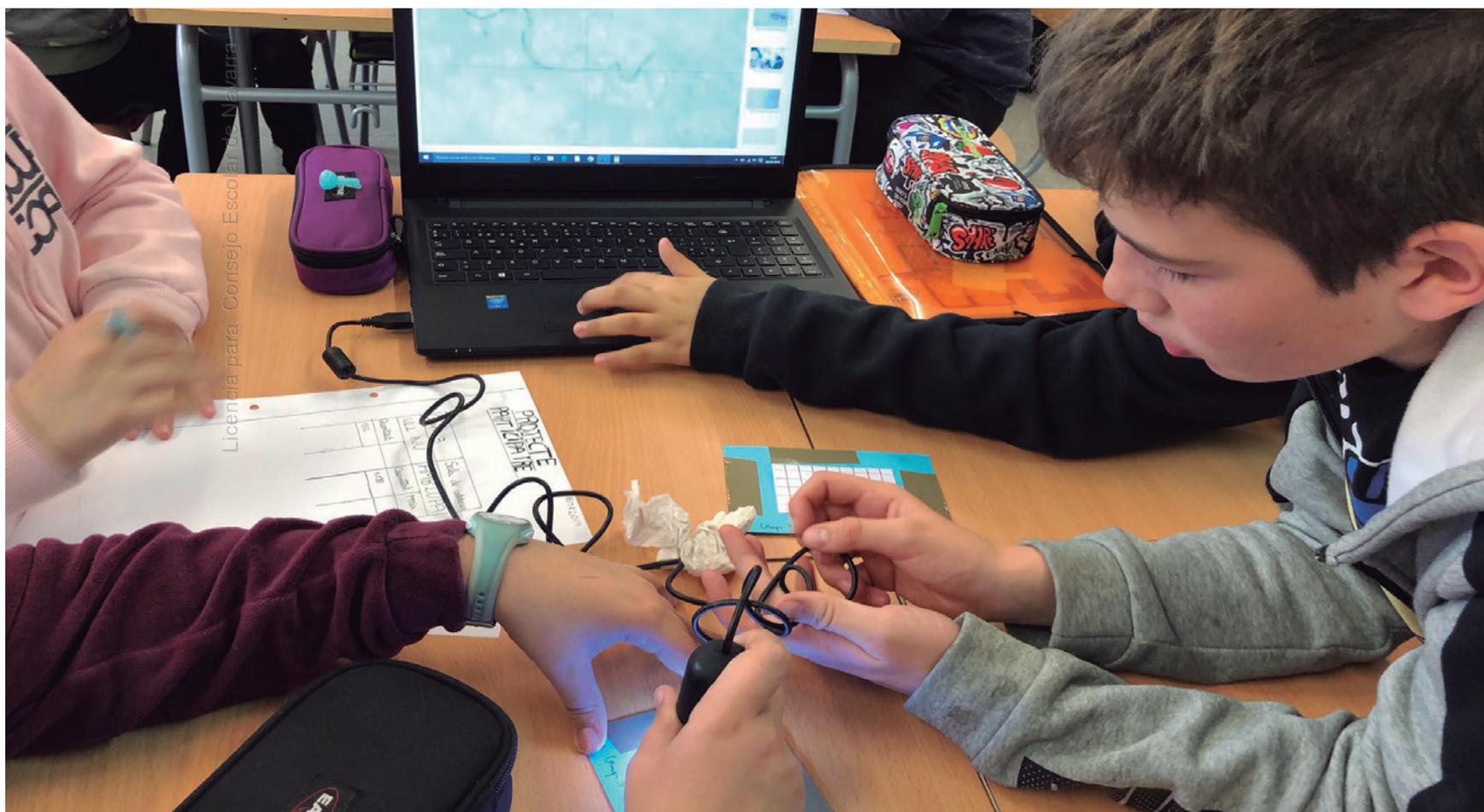


# ¿Cómo ayudar al alumnado a investigar en ciencias?

Èlia Tena Gallego, Digna Couso Lagarón



La plantilla de andamiaje PaPER se propone para impulsar la indagación científica genuina en el aula, es decir, la indagación abierta en la que el alumnado diseña las diferentes fases de la investigación. En el artículo se incluyen ejemplos de uso de esta plantilla aplicados al estudio de la contaminación del aire y se destacan los principales aspectos que se han de tener en cuenta para investigar genuinamente en el aula de primaria.

#### PALABRAS CLAVE

- indagación abierta
- ciencias
- andamiaje
- investigación
- contaminación

## INVESTIGAR CIENTÍFICAMENTE EN EL AULA DE PRIMARIA: ¿DE QUÉ HABLAMOS?

Conscientes de la importancia de la indagación como un proceso básico para el aprendizaje de las ciencias, muchas escuelas buscan involucrar al alumnado en actividades que la fomenten. A menudo estas actividades consisten en buscar información por internet. Otras son propuestas prácticas y manipulativas donde el alumnado dispone de materiales para tocar y probar sin un objetivo concreto. También se proponen observaciones y experimentos donde se sigue, al pie de la letra, un guion-receta con pasos detallados. A pesar de la importancia de estas actividades, a menudo tienen poco que ver con la manera como se hace, se piensa y se habla científicamente.

Investigar científicamente en el aula de primaria implica desarrollar destrezas de indagación (por ejemplo, plantear preguntas, hacer predicciones o recoger, analizar y representar datos), de forma que profundicemos con dichas investigaciones en alguna idea científica (Couso, 2014). Cuando hablamos de investigaciones científicas, es recurrente pensar en el método científico como conjunto de pasos secuenciados: observación, pregunta, hipótesis, experimento, análisis y con-

clusiones. Sin embargo, en la ciencia a menudo la pregunta de investigación cambia mientras se avanza, los experimentos no se pueden llevar a cabo como se planearon, los resultados obtenidos pueden demostrar cosas que no se estaban preguntando, etc. La ciencia, erudita y escolar, más que un método para seguir tiene que ver con unas maneras de hacer, pensar, decir, ser y valorar (Izquierdo y otros, 1999).

Llevar al aula propuestas que ayuden al alumnado de primaria a construir una idea adecuada de qué es y cómo se hace la ciencia es importante y en absoluto trivial. Crear esta cultura de participar científicamente en el aula debe hacerse progresivamente, empezando por pequeñas indagaciones cerradas o semicerradas. Sin embargo, todo el alumnado al acabar primaria debería haberse enfrentado al menos a una inda-

Investigar científicamente en el aula de primaria implica desarrollar destrezas de indagación, de forma que profundicemos con dichas investigaciones en alguna idea científica

gación abierta en la que se plantee una pregunta investigable, identifique el material necesario, planifique los pasos que va a seguir, recoja y analice datos, y saque conclusiones. Es en este tipo de contexto genuino donde realmente se ponen en juego las destrezas y disposiciones propias de la indagación científica escolar.

## ¿CÓMO PROMOVER LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN EL AULA? LA PLANTILLA PaPER

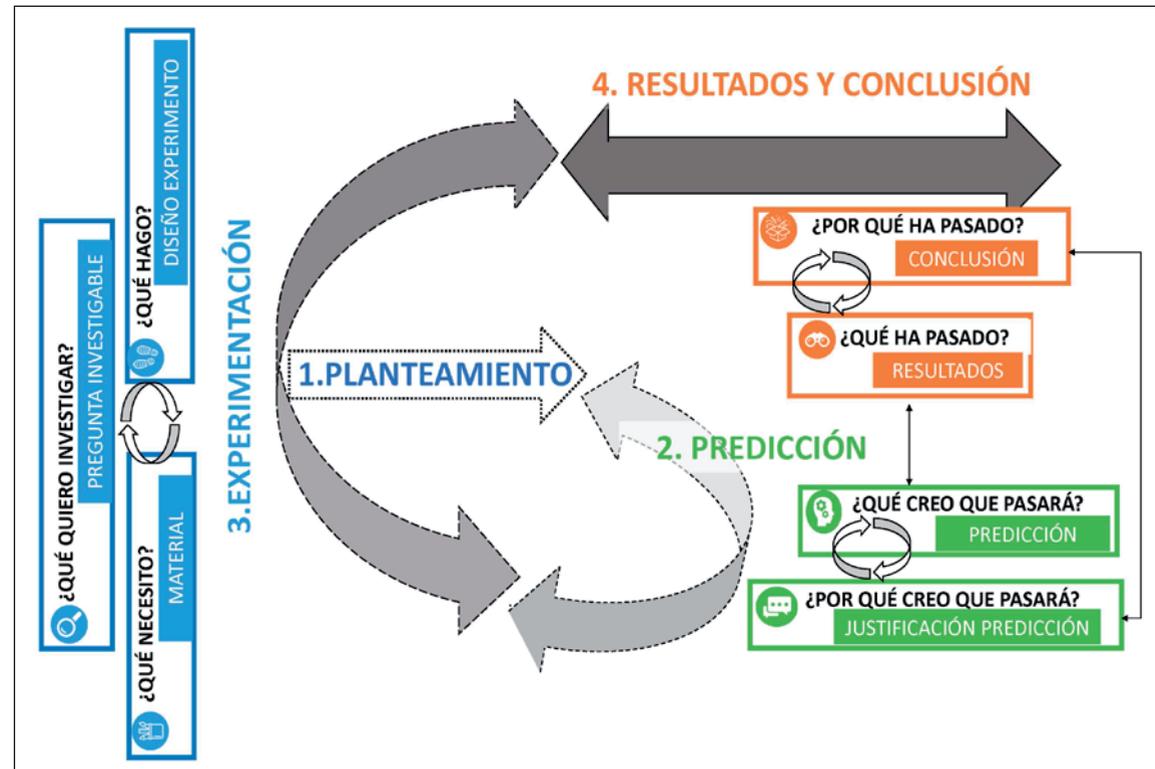
Conscientes de la dificultad que supone involucrar al alumnado en indagaciones abiertas para construir ideas científicas, en este artículo presentamos una plantilla de andamiaje para facilitar este proceso. La plantilla PaPER (acrónimo de planteamiento, predicción, experimentación y resultados) se basa tanto en investigaciones en didáctica de las ciencias como en los resultados de su uso en el aula, y divide el proceso de indagación en cuatro momentos clave: el planteamiento de la investigación, la predicción inicial, la realización de la experimentación (recogida de datos) y la obtención de resultados y elaboración de conclusiones en base a estos (cuadro 1). Para facilitar y guiar la actuación de los estudiantes, cada uno de estos momentos

se estructura en forma de preguntas-guía. Por ejemplo, en el momento de la predicción, se propone al alumnado preguntarse: ¿qué creo que pasará? (predicción) y ¿por qué creo que pasará? (justificación de la predicción).

La principal fundamentación teórica de esta plantilla son las propuestas de Màrquez, Roca y Via (2003), que sugieren alejarse de los informes de laboratorio típicos para adoptar una postura narrativa donde el alumnado relate su experiencia de manera contextualizada y directa. Así, el foco se centra en el objetivo (pregunta investigable) y el proceso (qué y cómo lo queremos hacer / lo hemos hecho), en lugar de seguir las formalidades del texto (cómo la ciencia erudita escribe sus informes de laboratorio).

Otra característica de PaPER es la importancia que se da a la predicción. Numerosas investigaciones en didáctica, enmarcadas bajo las siglas POE (predicción, observación, explicación), destacan la predicción como elemento clave, pero a menudo obviado en el proceso de experimentación (Palmer, 1995).

Por último, la plantilla enfatiza la importancia de que el alumnado exprese aquellas ideas que le hacen tanto predecir estos resultados (¿por qué creo que pasará?) como explicar los datos obtenidos de la experimentación (¿por qué creo que ha pasado?). Estas preguntas les permiten expresar sus modelos iniciales sobre el fenómeno estudiado, aspecto imprescindible para poder ponerlos a prueba con la experimentación y hacerlos evolucionar integrando otros puntos de vista (Couso, 2020).



**Cuadro 1.** Momentos y preguntas orientadoras de la plantilla PaPER para guiar la realización de investigaciones en el aula. La figura también muestra la correspondencia entre cada pregunta y el nombre típicamente asociado a esa fase en una indagación científica

### UN EJEMPLO DE USO: INVESTIGANDO LA CALIDAD DEL AIRE

A continuación, presentamos un ejemplo de uso de la plantilla PaPER en el marco de un proyecto sobre contaminación atmosférica<sup>1</sup> en la escuela. Esta indagación tenía como objetivo ayudar a alumnado de 5.º y 6.º curso tanto a construir ideas sobre el aire y la contaminación (modelo materia) como a desarrollar destrezas de indagación.

### El planteamiento: qué y cómo podemos investigar la contaminación del aire

La indagación se ha iniciado pidiendo al alumnado plantear preguntas investigables sobre la contaminación del aire. La mayoría de las primeras preguntas eran demasiado amplias, reproductivas y, por tanto, difícilmente investigables. Esto no es extraño, ya que, a pesar de que plantear preguntas investigables debe ser uno de los objetivos de las clases de ciencia, estas no son comunes en las aulas (Màrquez y otros, 2003).

Para fomentar su mejora, en la plantilla PaPER se proponen criterios útiles para la auto o coevaluación de las primeras propuestas. Para consensuar la pregunta definitiva, es imprescindible dedicar tiempo al análisis de las preguntas vinculado a la concreción del material y del diseño del experimento (cuadro 2). Tras la discusión guiada de estos otros aspectos, los grupos han detallado la relación entre variables o incluido las variables de control en la pregunta, proponiendo interrogantes más investigables.

A pesar de las diferencias en los planteamientos iniciales del alumnado en términos de materiales y diseño de la indagación, se pueden identificar similitudes en torno a ideas como muestra o instrumento de recogida de datos (por ejemplo, la necesidad de usar algún material para «atrapar» la contaminación).



**Imagen 1.** Hoja con vaselina colocada para recoger la contaminación

Para facilitar la delimitación del material y del diseño de la indagación se han usado diferentes estrategias docentes: mostrar ejemplos (cómo los científicos recogen y estudian la contaminación...), presentar instrumentos disponibles (lupas digitales...) o hacer preguntas para profundizar (¿qué queréis medir?, ¿qué cambiaréis para ver cómo afecta?, ¿qué intentaréis mantener siempre igual?...). Un aspecto clave en esta discusión ha sido incorporar como criterio la viabilidad de las propuestas experimentales (como que ese algo sea concreto y accesible para realizar en la escuela).

La definición de los materiales y del diseño definitivo ha sido consensuada después de diversos momentos de negociación, tanto entre el propio alumnado como con los docentes.

### La importancia de predecir y saber por qué predecimos

Planteado el diseño experimental de la indagación, se ha pedido al alumnado una predicción del resultado (¿qué creo que pasará?). En este caso, no estamos pidiendo la elaboración en forma de hipótesis ni deducción, ya que estas requieren de un alto grado de generalización y del uso de fórmulas del tipo: «si..., entonces...» (por ejemplo: si hay más coches circulando, entonces habrá más contaminación). Nuestro propósito es que el alumnado de primaria sea capaz de pensar cuáles cree que serán los resultados concretos de su experimento en el contexto planteado y con los materiales usados.

Para que la predicción no sea al azar ni lo importante sea acertar o no, es imprescindible que se

expresen los motivos que nos llevan a predecir estos resultados (¿por qué creo que pasará?). Al hacerlo, se comunica al alumnado la importancia de las ideas en ciencia y cómo los resultados de los experimentos nos ayudan a cuestionarlas.

### La experimentación como acción para recoger datos

La fase de experimentación requiere familiaridad con los instrumentos, las técnicas y los procedimientos que se usarán. Por ello, los docentes han probado los materiales y las condiciones de los experimentos planteados previamente. Esto ha permitido conocer las dificultades y problemáticas con las que se podía encontrar el alumnado y reflexionar profundamente con ellos sobre sus diseños antes de iniciar la experimentación. Por ejemplo, se han hecho preguntas sobre la viabilidad de los experimentos planteados del tipo: ¿creéis que la cola blanca (pegamento) seguirá enganchando la contaminación pasada una hora?

Este proceso de ir descartando materiales y formas de hacer conlleva una cierta convergencia. Por ejemplo, en la mayoría de los casos se ha optado por colocar vaselina u otros materiales sobre al menos dos trozos de papel y colocarlos en diferentes ubicaciones de la escuela (arriba o abajo, cerca de la carretera o del patio...) durante un tiempo determinado (una hora, 24 horas...) para poder comparar el grado de contaminación de diferentes espacios (imagen 1).

Transcurrido el tiempo de experimentación se han recogido las muestras y se han analizado tanto a simple vista como con ayuda de una

## TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:

<p><b>¿QUÉ QUIERO INVESTIGAR?</b></p> <p>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 ello debe ser lo más concreta posible y se deben relacionar diferentes variables.</p> <p><b>¿Qué grado de contaminación hay en la escuela?</b> <b>¿Qué aire es mejor, el de una clase con las ventanas cerradas o el aire del huerto?</b></p>	
<p><b>¿QUÉ NECESITO?</b></p> <p>¿Qué materiales necesitamos para hacer la investigación? ¿Como podríamos recoger la contaminación? ¿Como podríamos mirar la contaminación que hemos recogido?</p> <p>Necesitamos papel, cartulina, cinta adhesiva, cera del pelo, un microscopio y un metro.</p>	<p><b>¿QUÉ HAGO?</b></p> <p>¿Qué pasos seguiremos para hacer la investigación? ¿Como lo haremos? ¿Donde lo colocaremos? ¿Cuanto tiempo lo dejaremos? ¿como nos aseguraremos de hacerlo siempre igual? ¿Qué compararemos con qué? ¿Cuantas veces lo haremos?</p> <p>Primero cogeríamos los materiales, después engancharíamos la cera del pelo y lo pondríamos en las dos puertas y esperaríamos 24h y si no pasa nada. Mediríamos las dos puertas y pondríamos las 2 cartulinas a la misma altura y así las dos estarían igual. Intentaríamos ponerlas [las dos cartulinas] al mismo tiempo.</p>
<p><b>¿QUÉ CREO QUE PASARÁ?</b></p> <p>¿Qué crees que obtendrás/ observarás en cada una de las muestras? ¿Qué diferencias crees que habrá entre las diferentes muestras?</p> <p>Creemos que estará más contaminado el aire de la clase.</p>	<p><b>¿POR QUÉ CREO QUE PASARÁ?</b></p> <p>¿Qué te hace pensar que obtendrás/observarás estos resultados? ¿Por que crees que habrá esta diferencia?</p> <p>Porque en el huerto, las plantas producen oxígeno y con el CO<sub>2</sub> de la carretera de al lado. En cambio en la clase no hay plantas y al lado tenemos la calle. A veces dejamos alguna ventana abierta en alguna clase, pasa el humo de la cocina y de la calle, entonces contamina más y entra a nuestra clase. Además nosotros expulsamos CO<sub>2</sub> y eso contamina.</p>
<p><b>¿QUÉ HA PASADO?</b></p> <p>¿Qué habéis obtenido/observado en cada una de las muestras? ¿Qué diferencias veis entre las muestras recogidas? ¿Podéis identificar algunas de las cosas que observaréis? ¿De qué tipo de partículas observáis más? ¿Y menos?</p> <p>En la imagen [muestra vista a través de la lupa] del huerto no se veía contaminación. En cambio, en al imagen de la clase se veían puntos negros, hilos, etc. pero sólo cuando miramos con el microscopio [lupa]. En la muestra de la clase hay puntos de contaminación, hilos y suciedad. En la muestra del huerto hay muy pocos puntos negros y algunos pocos hilos pequeños.</p>	<p><b>¿POR QUÉ HA PASADO?</b></p> <p>¿Cómo explicaríais los resultados obtenidos/observados de las muestras? ¿Qué os hace pensar en estos resultados? ¿Son los resultados que esperabais obtener? ¿Creéis que con estos datos es suficiente o deberíais recoger más? Si volviéseis a hacer una investigación, etc. ¿qué cambiaríais en esta nueva recogida de datos?</p> <p>Creo que el de la clase está más sucio ya que pasamos la mayoría del tiempo allí y esto hace que se acumule el dióxido de carbono (aire sucio), pero en cambio en el huerto ya nos esperábamos que estuviera más limpio ya que las plantas absorben dióxido de carbono y expulsan O<sub>2</sub> (aire limpio). Creemos que está «medio contaminado» pero que podría estar mejor. Nos hemos dado cuenta que el CO<sub>2</sub> era demasiado pequeño para que lo pudiéramos ver, entonces hemos pensado que los puntos podrían ser: hilos de ropa, las suciedades que hay en la calle, varios virus y bacterias, partículas de contaminación, tierra en la muestra del huerto (principalmente), hollín.</p>

**Cuadro 2.** Plantilla PaPER con ejemplos de respuesta reales del alumnado. Con fondo blanco, la respuesta inicial; con fondo azul, la respuesta después de hablar y reflexionar en pequeño grupo y con los docentes

lupa digital (véase en la imagen que encabeza el artículo al alumnado mirando una de las muestras recogidas con la lupa digital). Este instrumento, previamente presentado, ha permitido ampliar la imagen para observar y contabilizar diferentes partículas contaminantes no visibles a simple vista, pudiendo llegar a diferenciar entre distintos tipos de partículas (hollín, fibras, etc.).

### La extracción de resultados y conclusiones de los datos

Para ayudar al alumnado a organizar la información, identificar patrones, etc., se han recuperado las preguntas investigables definitivas y se ha analizado si los resultados permitían responderlas. También se han buscado maneras de enseñar y explicar a los compañeros los resultados obtenidos. Los grupos, con ayuda de los docentes, han propuesto diferentes maneras de representar estos datos, usando tablas, mapas de calor, etc. (véase el cuadro 2).

Analizándolos, se ha pedido una interpretación de los resultados atendiendo a los motivos que pueden explicar las similitudes y diferencias observadas (las fuentes de contaminación presentes en los sitios donde se han recogido las muestras, etc.).

La fase de experimentación requiere familiaridad con los instrumentos, las técnicas y los procedimientos que se usarán

Identificar las similitudes y diferencias entre su predicción y los datos resultantes fomenta la autorregulación del proceso

Además, para fomentar la autorregulación del proceso, en esta fase también se ha pedido al alumnado que identifique las similitudes y diferencias entre su predicción y los datos resultantes. El objetivo es que el alumnado sea consciente de la manera en que la investigación realizada le ayuda a modificar sus ideas iniciales sobre el fenómeno investigado, que eran muy distantes del modelo científico escolar (Tena y Couso, en prensa). •

#### Notas

\* AGRADECIMIENTOS: Al Projecte Atenció financiado por Recercaixa, impulsado por La Caixa con colaboración de ACUP y ParticipAire (FECYT). Se ha obtenido apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad (PGC2018-096581-B-C21), dentro del grupo ACELEC (2017SGR1399), y la beca predoctoral FI (AGAUR). El trabajo ha sido realizado en el marco del programa de Doctorado en Educación de la UAB. 1. El material completo del proyecto se puede consultar en abierto en: <https://ddd.uab.cat/record/225073>

#### Referencias bibliográficas

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, pp. 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, pp. 63-74.

IZQUIERDO, M. y otros (1999): «Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. ext., pp. 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.: *Aprendre ciències tot aprenent a escriure ciència*. Barcelona. Edicions 62.

PALMER, D. (1995): «The POE in the primary school: An evaluation». *Research in Science Education*, vol. 25(3), pp. 323-332.

TENA, E., COUSO, D. (en prensa): «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.

#### Hemos hablado de:

- Didáctica de las ciencias experimentales / ciencias naturales.
- Proyectos de investigación.
- Ecología.

#### Autoras

**Èlia Tena Gallego**

**Digna Couso Lagarón**

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

Este artículo fue solicitado por AULA DE INNOVACIÓN EDUCATIVA en abril de 2020 y aceptado en julio de 2020 para su publicación.