

Evaluación del diseño de una secuencia de indagación-modelización sobre fotosíntesis a través de una tarea colectiva previa a la implementación

Manuela González-Herrera 

Grupo Sensociencia, Universidad de Almería. España. manuelagh@ual.es

Digna Couso Lagarón 

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona. España. digna.couso@uab.cat

María Martínez-Chico 

Grupo Sensociencia, Universidad de Almería. España. mmartinez@ual.es

Rut Jiménez-Liso 

Grupo Sensociencia, Universidad de Almería. España. mrjimene@ual.es

[Recibido: 13 noviembre 2025; Revisado: 12 febrero 2026; Aceptado: 14 mayo 2026]

Resumen: En la investigación de diseño cuando se quiere evaluar una propuesta de enseñanza es habitual poner el foco en los resultados tras la implementación, dejando de lado la importancia de analizar el propio proceso de diseño previo. Asimismo, uno de los grandes retos de la investigación didáctica es la operativización del proceso de diseño de Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEAs). En este artículo presentamos la evaluación de una SEA diseñada de manera colectiva por el grupo de investigación Sensociencia, analizando las decisiones de diseño tomadas por cada diseñador/a individualmente desde las dimensiones contextual, conceptual, epistemológica y didáctica. Los resultados revelan que afloran diversos principios de diseño en miembros de un mismo grupo de investigación y que analizar los consensos y disensos entre ellos/as resulta una tarea enriquecedora durante la co-construcción del diseño y la evaluación de su calidad antes de su implementación en el aula.

Palabras clave: Evaluación preliminar; Fotosíntesis; Indagación; Investigación de diseño; Modelización; Tarea colectiva de diseño.

Evaluation of the design of an inquiry-modeling sequence on photosynthesis through a collective task prior to implementation

Abstract: In Design-Based Research, when evaluating an instructional proposal, the focus is usually placed on the outcomes after implementation, overlooking the importance of analyzing the design process itself. Likewise, one of the major challenges in educational research lies in the operationalization of the design process of Teaching and Learning Sequences (TLSs). In this article, we present the evaluation of a TLS collectively designed by the research group Sensociencia, analyzing the design decisions made individually by each designer through the contextual, conceptual, epistemological, and didactic dimensions. The results reveal that different design principles emerge among members of the same research group and that analyzing the consensus and disagreements among them proves to be an enriching task during the co-construction of the design and the evaluation of its quality prior to classroom implementation.

Keywords: Preliminary assessment; Photosynthesis; Inquiry-based teaching; Design-Based Research; Modelling-based teaching; Design collective task.

Para citar este artículo: González-Herrera, M., Couso, D., Martínez-Chico, M. y Jiménez-Liso, R. (2026). Evaluación del diseño de una secuencia de indagación-modelización sobre fotosíntesis a través de una tarea colectiva previa a la implementación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 23(2), 2026. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2026.v23.i2.2801

Introducción

Docentes de ciencias e investigadores en Didáctica de las Ciencias Experimentales (DCE, en adelante) coincidimos en una tarea común: el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje (SEAs). Sin embargo, existen algunas diferencias en este desempeño. En primer lugar, en el objetivo (Zemba-Saul, 2017), pues el profesorado diseña o adapta secuencias para el día a día de sus clases y que su alumnado desarrolle las competencias científicas. En cambio, para investigadores en DCE, es el propio diseño el que pasa a ser objeto de investigación a través de la investigación de diseño o DBR (Design-Based Research Collective, 2003; Guisasaola et al., 2021; Juuti y Lavonen, 2006).

Una segunda diferencia destacada en la literatura se refiere a la evaluación de las SEAs. El personal docente no investigador raramente evalúa sus SEAs de forma sistemática, mientras que el investigador las evalúa iterativamente en contextos controlados. Sin embargo, en esta distinción se subestima al profesorado y se obvia una característica propia de la DBR: la evaluación del proceso de diseño y su operativización. Esta evaluación de la calidad del diseño —elección de principios, concreción de objetivos, coherencia interna— es genuina de la investigación de diseño (Tena y Couso, 2023).

Por ello, para destacar el aporte de la DBR, quienes investigamos deberíamos pormenorizar en qué consiste el proceso de diseño de la SEA, previo a su implementación, describiendo las decisiones tomadas para que aporten luz a otros docentes e investigadores ajenos a ese proceso. Por ejemplo, suele ser habitual señalar los grandes principios de diseño (socioconstructivismo, contextualización, centrada en el alumnado, etc.) como punto de partida del diseño y no se suelen evaluar estos principios de manera emergente a partir de la SEA producida para ver si coinciden o no con lo planificado.

Estas acciones de evaluación del diseño de SEAs nos aproximarán a la ingeniería didáctica (Artigue, 1988), operativizando, para poder enseñar el proceso de diseño, y dotándolo de eficiencia y efectividad, pero, sobre todo, validando que la calidad está garantizada antes de su implementación en el aula.

En este artículo evaluamos una SEA sobre fotosíntesis producida colectivamente en el grupo Sensociencia. Analizamos las dimensiones de cada diseño individual (Jiménez-Liso et al., 2023) y cómo cada uno contribuyó al diseño colectivo. Así, ponemos el foco en el proceso —decisiones, fundamentos, consensos y disensos— más que en el producto final (González-Herrera, 2026). El análisis muestra que, pese a compartir elementos comunes, pueden florecer aproximaciones diversas sustentadas en principios de diseño diferenciados.

La actividad de diseño colectivo que describimos en este artículo podrá ser adaptada a la formación de docentes o tendrá implicaciones para la toma de decisiones de los diseños de SEAs en otros grupos de investigación.

La elección del contenido abordado en la SEA diseñada de forma colectiva, la fotosíntesis, se fundamenta en varios argumentos. Al estar contemplado en el currículo oficial del área de las ciencias, la elección de la fotosíntesis y el crecimiento vegetal queda justificada desde el plano formativo. Además, su elección se refuerza por su relevancia cotidiana, al ser un fenómeno observable en contextos cercanos al alumnado, su potencial para abordar cuestiones sociocientíficas actuales, su amplio tratamiento en la DCE (Pedrera et al., 2025) en relación con las concepciones alternativas y su interés histórico, pues algunas ideas erróneas coinciden con planteamientos defendidos en el pasado por científicos como Jan Baptista van Helmont, lo que permite anticipar dificultades y orientar las intervenciones didácticas.

Objetivos y preguntas de investigación

Con la idea de contribuir a clarificar el proceso de diseño y su evaluación previa a la implementación, en este artículo tenemos como objetivo evaluar, preliminarmente, el proceso de diseño colaborativo de una SEA sobre la fotosíntesis mediante indagación y modelización. Para ello, en primer lugar, analizaremos las decisiones individuales a la luz de cuatro dimensiones: contextual, conceptual, epistemológica y didáctica. En segundo lugar, evaluaremos cómo cada diseño individual contribuye (proximidad o lejanía) al diseño colectivo de la SEA final de fotosíntesis para plantear implicaciones para enseñar a diseñar a otros docentes en formación inicial o en activo. Este objetivo se traduce en las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cómo podemos analizar las propuestas individuales de secuencias de actividades en un proceso de diseño colectivo? ¿Cuáles son los principios de diseño que emergen de los diseños individuales y qué grado de proximidad tienen con el diseño colectivo final?
2. ¿Qué consensos y disensos emergen al comparar las propuestas individuales y cómo se integran en la co-construcción de la SEA “Foto-Síntesis” por indagación y modelización?

Los resultados de las preguntas de investigación y objetivos de este artículo contribuirán a valorar la tarea de diseño realizada y, por tanto, ofrecerán implicaciones para la investigación de diseño y para la formación de investigadores/docentes en el diseño.

Marco teórico

La investigación de diseño se caracteriza por buscar simultáneamente resolver problemas prácticos y generar conocimiento teórico (Anderson y Shattuck, 2012; Design-Based Research Collective, 2003), por lo que tiene naturaleza situada, iterativa y dual. Como hemos indicado en párrafos anteriores, tradicionalmente, los estudios enmarcados en la DBR han centrado su evaluación en la implementación del producto diseñado y en su efecto sobre los resultados de aprendizaje del alumnado, siendo más opacos en la evaluación de las fases iniciales del proceso de diseño (Plomp, 2013), lo que ha conllevado un reduccionismo de la evaluación de la calidad del diseño antes de su puesta en práctica en términos de coherencia interna entre principios teóricos, objetivos y decisiones didácticas (Tena y Couso, 2023).

Esta perspectiva orienta el presente trabajo, que se centra en la fase de laboratorio del diseño de una SEA sobre la fotosíntesis bajo el enfoque de enseñanza de indagación y modelización (en adelante MBI -Model-Based Inquiry-). Esta fase preliminar la entendemos como un espacio de reflexión y análisis sobre las decisiones individuales de diseño y su contribución al diseño colectivo para mostrar cómo se ha desarrollado el proceso de diseño, haciéndolo más transparente. Además, este enfoque sirve de marco teórico para el análisis de resultados: aglutina cuatro de las dimensiones propuestas por Jiménez-Liso et al. (2023), las cuales permiten analizar la proximidad de cada diseño individual al diseño colectivo final.

MBI como marco epistemológico para el diseño de SEAs

Simarro y Couso (Couso y Simarro, 2022; Simarro y Couso, 2021) proponen un marco para el diseño basado en la definición explícita de criterios epistemológicos de aprendizaje y de evaluación que guíen su planificación y prototipado, favoreciendo procesos de diseño más coherentes y fundamentados. De acuerdo con esta propuesta, al diseñar SEAs en DCE debemos transitar desde la explicitación de los objetivos de aprendizaje conceptual (Ametller et al., 2005; Guisasola et al., 2021; Leach y Scott, 2002), hacia la consideración de otras dimensiones que favorezcan el aprendizaje de una ciencia contextualizada y auténtica (Moraga, 2017). Coherente con esta visión está el enfoque de enseñanza MBI que puede funcionar como elemento

estructurador de este tipo de aprendizaje (Windschitl et al., 2008) ya que permite integrar los objetivos de aprendizaje conceptual con los de participación en prácticas científicas (Passmore y Stewart, 2002).

Aprender ciencias implica participar en prácticas epistémicas como formular preguntas, construir y evaluar modelos, usar pruebas para explicar fenómenos, comunicar, etc. (Passmore et al., 2009) y a través de la MBI el alumnado desarrolla estos modos de razonar y actuar propios de la ciencia, construyendo una visión de esta más apropiada: una práctica en la que las ideas o modelos no son productos estáticos, sino herramientas en constante evolución, que se construyen, contrastan y revisan en base a pruebas (Schwarz et al., 2009; Windschitl et al., 2008). Entendemos que el potencial de la MBI reside en la centralidad de la modelización (Garrido y Couso, 2025) y en el reconocimiento de la construcción de conocimiento descriptivo a través de la indagación, ambas valiosas y necesarias (Martínez-Chico et al., 2017).

Además, la pertinencia de enseñar ciencias mediante MBI puede argumentarse atendiendo a distintas dimensiones: está alineado con las recomendaciones curriculares al favorecer competencias científicas clave como la construcción de explicaciones y el razonamiento basado en pruebas (NGSS, 2013); resulta eficaz para promover una comprensión profunda de los fenómenos, ya que facilita el tránsito de modelos intuitivos hacia otros más sofisticados y cercanos a los científicos (Schwarz et al., 2009); y, además, tiene efectos positivos en la motivación, la autoconfianza y el compromiso emocional del alumnado (López-Banet et al., 2021).

En relación con contenidos específicos sobre la fotosíntesis, estudios recientes han mostrado también la efectividad de SEAs MBI para abordar la nutrición de las plantas y la fotosíntesis, favoreciendo la superación de dificultades de aprendizaje y una comprensión más integrada de estos procesos (Pedrera et al., 2025).

Hacia la operativización de los procesos de diseño de SEAs

Una de las dificultades históricas en la investigación didáctica ha sido y es operativizar el proceso de diseño de SEAs. En la línea del *Learning design*, diversos marcos metodológicos abordan este reto (Mor y Winters, 2008), apostando por considerar al profesorado como diseñador y por proporcionar herramientas que hagan explícitas las decisiones de diseño (Mor y Craft, 2012; Obczovsky et al., 2025) y que ayuden a visibilizar las hipótesis de diseño que subyacen a las propuestas (Mor y Winters, 2008).

Estos enfoques basados en Patrones de Diseño (Mor et al., 2015) resultan especialmente útiles al promover la identificación de problemas recurrentes y soluciones transferibles, funcionando como objetos frontera entre la teoría y la práctica. Este marco es interesante porque además ayuda a facilitar la transferencia de conocimiento generado al estructurarlo en patrones reutilizables, potenciar la participación y facilitar la negociación conceptual en situaciones de diseño compartido. Los lenguajes de patrones (*Pattern Languages*) se han empleado en arquitectura, diseño de software y educación. Sus versiones iniciales (1.0) documentaban problemas y soluciones recurrentes; las más avanzadas evolucionan hacia sistemas complejos y procesos participativos que permiten la co-creación entre docentes, diseñadores e investigadores (Finidori, 2025).

En esta línea, nuestro trabajo adopta un enfoque próximo al *Pattern Language 2.0*, cuyo propósito es reducir la distancia entre diseñadores/as con distintos niveles de experiencia a través de la creación de un producto no físico (en nuestro caso una SEA) a lo largo de un proceso orientado a resolver colectivamente problemas educativos de manera eficiente (Finidori, 2025). Así, reconocemos el potencial del enfoque de patrones de diseño como sistema para representar el

conocimiento de diseño, algo demandado desde la investigación en DBR, por la necesidad de sistematizar las decisiones de diseño para favorecer la acumulación progresiva de conocimiento y la transferibilidad de los resultados (Obczovsky et al., 2025). Pero también aprovechamos su potencial a modo de dispositivo que contribuye al propio proceso de diseño colaborativo y reflexivo.

El trabajo parte inicialmente de la exploración de propuestas de diseño individuales con la intención de no limitar la creatividad y favorecer la emergencia de ideas diversas en las fases iniciales del proceso. Y, con la incorporación y consideración de los patrones, pretendemos facilitar la transición hacia una dinámica de co-diseño, que, si bien nos obliga a hacer priorizaciones, abordar dilemas y negociar significados, buscar soluciones compartidas... también nos permite integrar distintos niveles de experiencia entre los/as participantes.

Nuestra aspiración es ir asemejándonos a la evolución de los lenguajes de patrones en el diseño, que han transitado desde funciones principalmente descriptivas hacia marcos generativos y participativos capaces de orientar procesos de creación colectiva y mejora continua. Y creemos que esto es posible porque, en el contexto de las SEAs, el lenguaje de patrones permite tanto documentar soluciones didácticas, como estructurar la interacción entre diseñadores/as con diferente grado de experiencia y favorecer la construcción colectiva de las propuestas.

Metodología

El diseño colaborativo de la enseñanza se ha consolidado como un enfoque que integra la diversidad de saberes y perspectivas, generando propuestas más coherentes y contextualizadas (Izquierdo et al., 1999). Desde una perspectiva de DBR, el co-diseño no solo es compatible, sino que es deseable (Couso, 2016), ya que potencia la calidad y validez de los productos diseñados y del conocimiento que se deriva del proceso.

Analizar lo que ocurre en el proceso de diseño colectivo permite aumentar nuestro conocimiento sobre el trabajo cooperativo docente entre el profesorado, ya sea analizando el contenido del discurso de los/as participantes (Couso y Roser, 2005), o bien las distintas producciones que emergen en este proceso (Grimalt-Álvaro et al., 2025; Moraga, 2017). Este enfoque sustenta el análisis presentado en este artículo, orientado a valorar la tarea de diseño colectivo como espacio de aprendizaje y de investigación, como práctica y como objeto de investigación al mismo tiempo.

El trabajo que presentamos corresponde a una investigación cualitativa enmarcada en el marco metodológico DBR (Plomp, 2013), específicamente en la Fase 1 correspondiente a la investigación preliminar, previa a la implementación. En concreto, se trata de un estudio de caso centrado en el proceso de diseño colectivo llevado a cabo por seis investigadores/as del grupo Sensociencia que participaron en la co-construcción de una SEA sobre fotosíntesis.

El grupo de investigación Sensociencia ha centrado su investigación en los últimos años en el proceso de diseño. Con el objetivo de operativizar cómo diseñamos, nos proponemos tareas de diseño, de igual forma que lo hacen otros sectores como el interiorismo o la arquitectura. La tarea se realiza primero individualmente para detectar las propias dificultades y los obstáculos al diseñar y luego colectivamente para enriquecernos desde miradas diferentes. Como inicio de la tarea de diseño planteamos a las seis personas integrantes del grupo la siguiente actividad: Tras la secuencia sobre seres vivos tomamos conciencia de que los/as alumnos/as de ESO aprenden que las semillas son seres vivos porque respiran, pero también somos conscientes de que siguen confundiendo la fotosíntesis con la respiración. Cada uno/a, vamos a diseñar una secuencia completa (con el enfoque de enseñanza de indagación y de modelización) para mejorar su aprendizaje.

En el grupo Sensociencia es habitual que las SEAs diseñadas estén centradas en los enfoques de enseñanza de prácticas científicas, en concreto de indagación y modelización. Para ello, contábamos como herramienta de diseño con los ciclos de indagación (Jiménez-Liso et al., 2020) y de modelización (Garrido y Couso, 2025) que usaremos más adelante para mostrar alguno de los resultados.

Todas las personas investigadoras pertenecían al mismo grupo e impartían las mismas asignaturas (DCE I y II) como formadores/as de docentes. Pese a ello —y al ser la primera vez que afrontaban un diseño colectivo—, su formación y experiencia eran muy diversas. Por ello, nos parece importante describir aquellos rasgos de los/as participantes que pudieron influir en su proceso de diseño. En la Tabla 1 mostramos los datos referidos a formación académica, tiempo de pertenencia al grupo de investigación y experiencia en formación docente de cada integrante del grupo. El orden en el que aparecen no ha sido aleatorio sino intencional para facilitar la presentación de resultados en la Figura 1.

Como podemos observar en la Tabla 1 las características de las personas participantes son muy diversas en cuanto al doctorado, con cuatro miembros del grupo que realizaron sus tesis doctorales exclusivamente en DCE y dos en ciencias ambientales, que además son los que tienen menos tiempo de relación con el grupo de investigación, lo que condiciona su inmersión en la idiosincrasia del grupo. Cabe destacar que los/as diseñadores/as D2 y D3 centraron su investigación doctoral en el ámbito de la botánica. Otro factor que puede afectar a las propuestas individuales es el tiempo de formación de docentes (columna cuarta de la Tabla 1) que va desde los dos cursos académicos a tiempo parcial, hasta los más de quince a tiempo completo.

Cada miembro del grupo hizo una propuesta de diseño individual en papel y PowerPoint que fueron recogidas para su posterior análisis y puestas en común en una reunión entre el conjunto de participantes para explicitar la toma de decisiones, que fue videograda. Por tanto, la tarea de diseño contó con una primera parte de diseño individual para la que se contó con un mes para su realización; y una sesión colectiva, para la que se invirtió una jornada laboral, en la que se expusieron los diferentes diseños individuales y se consensuó el diseño colectivo, escogiendo y descartando de forma justificada decisiones provenientes de los diseños individuales.

Tabla 1. Descripción de las personas participantes miembros del grupo de investigación Sensociencia: formación académica, tiempo de pertenencia al grupo y experiencia en formación docente en DCE.

Diseñador/a (D)	Formación académica (grado o licenciatura y doctorado)	Tiempo de pertenencia al Grupo de Investigación Sensociencia (años)	Cursos académicos en formación docente en DCE
D1	Grado en Educación Primaria Doctorado en Investigación Didáctica (sobre DCE)	4	4 (Tiempo Parcial, TP)
D2	Licenciatura en Ciencias Ambientales Doctorado en Ciencias Aplicadas y Medioambientales	0,5	2 (TP)
D3	Licenciatura en Biología Doctorado en Biología	1	5 (1TP + 4 Tiempo Completo, TC)

Tabla 1. Continuación.

Diseñador/a (D)	Formación académica (grado o licenciatura y doctorado)	Tiempo de pertenencia al Grupo de Investigación Sensociencia (años)	Cursos académicos en formación docente en DCE
D4	Licenciatura en Ciencias Físicas	Más de 15	Más de 15 (TC)
	Doctorado en DCE		
D5	Licenciatura en Ciencias Ambientales	15	15 (TC)
	Doctorado en Investigación Didáctica (sobre DCE)		
D6	Licenciatura en Ciencias Químicas	Más de 15	Más de 15 (TC)
	Doctorado en DCE		

Los documentos asociados a cada diseño se incorporaron en el programa Atlas.ti como herramienta de análisis cualitativo y se codificaron los fragmentos que evidenciaban los principios de diseño utilizados por los/as participantes, teniendo en cuenta las cuatro dimensiones analizadas. Los datos mostraron que para cada dimensión existen diferentes criterios de cercanía o lejanía al diseño final, que fueron clasificados mediante códigos específicos. Construimos un sistema de códigos jerarquizado que integró, por un lado, las dimensiones de diseño asociadas a cada dimensión y, por otro, los criterios de proximidad (cercanía o lejanía) de los diseños individuales con respecto al diseño colectivo final. A través del uso de tablas de coocurrencia de códigos se identificaron las coincidencias y divergencias entre los/as diseñadores/as. Para garantizar la fiabilidad de la codificación, el análisis de los datos (diseños en papel, PowerPoint y videograbación de la puesta en común) fue analizado por tres investigadoras de manera independiente y como medida de fiabilidad inter-codificador se utilizó el cálculo de la Kappa de Fleiss. El coeficiente Kappa resultó 0,83, lo que indica un acuerdo sustancial entre las codificadoras. En los casos de discrepancia, los códigos se discutieron hasta alcanzar consenso.

A continuación, presentamos las cuatro dimensiones de Jiménez-Liso et al., (2023) que hemos analizado y los niveles de proximidad al diseño colectivo final, atendiendo a los/as siguientes autores/as:

- Dimensión contextual a través del análisis de la pregunta inicial MBI, atendiendo a autenticidad, relevancia, persistencia, nivel indagador y nivel constructor de los contextos de una SEA (Moraga et al., 2019); y a relevancia personal, relevancia social y relevancia vocacional (Marchán-Carvajal y Sanmartí, 2015):
 - Nivel 1 (coincidente con el principio de diseño elegido): pregunta abierta formulada cotidiana o académicamente.
 - Nivel 2 (cercano al principio de diseño elegido): pregunta cerrada.
 - Nivel 3 (alejado al principio de diseño elegido): pregunta cotidiana y muy abierta.
- Dimensión conceptual a través de los modelos científicos que se pretenden construir (González-Herrera, 2026):
 - Nivel 1 (coincidente con el principio de diseño elegido): modelo de la fotoautotrofia (Schramm et al., 2018).

- Nivel 2 (cercano al principio de diseño elegido): modelo de la autotrofia (Taylor et al., 2022).
- Nivel 3 (alejado al principio de diseño elegido): modelo centrado en el intercambio gaseoso (Münkel-Jiménez et al., 2020).
- Dimensión epistemológica que emerge de la conexión entre la búsqueda de pruebas y las dimensiones anteriores, atendiendo a las visiones deformadas de la ciencia (Fernández et al., 2002; Vílchez-González y Perales, 2006): empiroinductivista y atórica, rígida, aproblemática y ahistórica, exclusivamente analítica, meramente acumulativa del desarrollo científico, individualista y elitista, descontextualizada y socialmente neutra.
 - Nivel 1 (coincidente con el principio de diseño elegido): visión no deformada de la ciencia.
 - Nivel 2 (cercano al principio de diseño elegido): visión problematizada, pero sin definición de las variables a medir.
 - Nivel 3 (alejado al principio de diseño elegido): visión empiroinductivista y atórica, rígida e individualista y elitista.
- Dimensión didáctica, que de partida sería los ciclos de indagación y modelización MBI (Jiménez-Liso et al., 2020; Couso, 2020), pero que según emerge de los datos puede ser:
 - Nivel 1 (coincidente con el principio de diseño elegido): MBI (Schwarz et al., 2017).
 - Nivel 2 (cercano al principio de diseño elegido): 5E (Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate) (Bybee et al., 2006); POE (Predict-Observe-Explain) (White y Gunstone, 2008) o cambio conceptual (Posner et al., 1982).
 - Nivel 3 (alejado al principio de diseño elegido): descubrimiento guiado (Bruner, 2009), Socio-Scientific Issues (Sadler y Dawson, 2011) o modelo transmisivo tradicional (Ausubel, 1978).

Resultados

Para responder a la primera pregunta de investigación (*¿Cómo podemos analizar las propuestas individuales de secuencias de actividades en un proceso de diseño colectivo? ¿Cuáles son los principios de diseño que emergen de los diseños individuales y qué grado de proximidad tienen con el diseño colectivo final?*), hemos identificado los niveles de proximidad entre los diseños individuales y el diseño colectivo final. Hemos elaborado una tabla disponible en el Anexo del Material complementario¹ con los datos literales extraídos de los diseños individuales de cada diseñador/a (D1-D6) en las filas en letra cursiva y con la interpretación (en filas con letra redonda) a la luz de las cuatro dimensiones seleccionadas (arriba-abajo) y de manera emergente respetando al máximo los datos (abajo-arriba).

En las filas en letra redonda hemos explicado la interpretación de los principios de diseño que emergen de cada diseño individual de las dimensiones contextual, relacionándola con la pregunta inicial de cada diseño; conceptual, que guarda estrecha relación con el modelo científico que subyace o con lo que explicitan que quieren que aprenda el alumnado; epistemológico, que emerge tanto de la pregunta inicial, del diseño de actividades como de la tipología de la búsqueda de

¹ <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/12361/13410>

pruebas; y, por último, la didáctica que, pese a disponer todos de los ciclos de indagación (Jiménez-Liso et al., 2020) y modelización (Couso, 2020) cada diseñador/a le dio su propio carácter.

Hemos sombreado en gris las celdas que presentan actividades que contienen verbos de acción para que las desarrolle el alumnado y, como se puede observar en la tabla del Anexo del Material complementario, en la pregunta inicial los/as seis diseñadores/as plantean una pregunta a resolver por el alumnado, mientras que en la búsqueda de pruebas (BP, quinta fila de la tabla del Anexo del Material complementario en letra cursiva) solo dos diseñadores/as plantean una actividad, el resto solo describen lo que harían.

Dimensión contextual

Tal y como podemos observar en la tabla del Anexo del Material complementario, en la segunda fila (en cursiva) mostramos la transcripción de las preguntas iniciales que iniciaban la SEA de cada diseñador/a. Todos los diseños están contextualizados en el entorno cercano del alumnado, aunque con diversidad de enfoques. D1 propone un contexto muy abierto: tras visualizar campañas de concienciación, pregunta qué significa que las plantas son el pulmón del planeta. D2 formula una pregunta académica y cerrada (¿las plantas respiran de noche?), mientras que D3 plantea una pregunta cotidiana y cerrada (¿es peligroso dormir con plantas en la habitación?). D4 y D5 y D6 formulan preguntas abiertas sobre los factores necesarios para el crecimiento de la planta.

El debate en esta dimensión se centró en si era más útil para el diseño que la pregunta fuera muy abierta (D1) o muy cerrada (D2 y D3) o qué objetivo conseguíamos si la pregunta era más cotidiana (D3, D4) o más académica (D5, D6). Tras valorar la coherencia con las otras dimensiones que describiremos más adelante, tomamos la decisión de optar por la pregunta académica y abierta con la siguiente gradación:

- Dimensión contextual:
 - Alejado del diseño final: pregunta cotidiana y muy abierta (D1).
 - Cercano del diseño final: pregunta cerrada (D2, D3).
 - Coincidente con el diseño final: pregunta abierta (D4, D5, D6) formulada cotidianamente (D4) o académicamente (D5, D6).

Dimensión conceptual

Con respecto al contenido a aprender por el alumnado que cada diseñador/a explicitó, D1 centra toda la secuencia en la producción de O₂ por parte de las plantas, D2 (y D3 implícitamente) ponen el foco en que los procesos de fotosíntesis y respiración se complementan; D4 y D5 ponen el foco en la alimentación de las plantas (autotrofia) que son capaces de crear su propia materia orgánica a partir de materia inorgánica, mientras que D6 (y en parte D5) se enfocan en la fotoautotrofia (necesidad de luz) y en un aspecto diferenciador que determinó toda la secuencia final: el crecimiento de la planta. De ahí que la secuencia final la denominamos “Foto-Síntesis” para destacar tanto la necesidad de luz como la síntesis orgánica o producción de su propio crecimiento, de su estructura foliar (hojas), radicular (raíz) y caulinar (tallo). Con esto queremos destacar que la decisión en cuanto al modelo científico a construir por el alumnado fue:

- Dimensión conceptual:
 - Alejado del diseño final: foco en el intercambio gaseoso (D1 y D2).
 - Cercano del diseño final: foco en la autotrofia (D4).

- Coincidente con el diseño final: foco en la fotoautotrofia y en la síntesis de su propia estructura, es decir, en su propio crecimiento (D5, D6).

Dimensión epistemológica

Para analizar esta dimensión epistemológica, nos hemos centrado en la búsqueda de pruebas que proponen los/as diseñadores/as en sus SEAs. Para ello, hemos tenido en cuenta si plantean actividad a desarrollar por el alumnado (D1 y D6) o no, y qué proponen para la toma de datos. Esta característica junto con si es de tipo demostración (D1, D2 y D3) o de búsqueda en fuentes fiables (D4, D5 y D6), incluidas las históricas (D5 y D6) nos proporciona información sobre la imagen de la ciencia que subyace. En los diseños D1, D2 y D3 la toma de datos se realiza a través de un experimento de demostración y observación de burbujas de planta acuática (D1), o de datos en los sensores O₂ y CO₂ con distintas intensidades lumínicas o de día/noche (D2 y D3) sin plantear anticipadamente qué pruebas necesitarían, es decir, una evaluación previa de la planificación experimental, por lo que la imagen que se está promoviendo es exclusivamente empírica, inductiva y atórica de la ciencia (Fernández et al., 2002). En estos diseños se pone el foco en la observación y en la experimentación entendidas como actividades «puras» o libres de ideas previas, e incluso en el azar como motor de los descubrimientos, dejando de lado la función central que cumplen las hipótesis al dirigir la investigación y el papel de las teorías ya existentes, que proporcionan el marco de referencia para todo el trabajo científico.

En cambio, D4, D5 y D6 incluyen actividades (en formato actividad para el alumnado solamente D6) para que los estudiantes reflexionen sobre datos de fuentes fiables y experimentos históricos como el de Van Helmont (Wandersee, 1986) que sirve para poner en conflicto la idea de que las plantas toman lo que necesitan para crecer por las raíces. El análisis de resultados de experimentos históricos dentro del proceso de búsqueda de pruebas para validar o refutar sus hipótesis genera implícitamente una imagen de ciencia problematizada, hipotético deductiva en construcción y en la que ellos son partícipes al valorar los resultados obtenidos en otros estudios. En estos diseños, la imagen de ciencia que se construye es de una ciencia que resuelve problemas con influencia social, falible y donde las ideas personales del alumnado juegan el rol de hipótesis a contrastar (Fernández et al., 2002), lo que les otorga una implicación de que ellos están haciendo ciencia auténtica. Por ello, la decisión tomada en torno a esta dimensión fue centrar la búsqueda de pruebas en artículos científicos resumidos en formato dossier (Domènech Calvet et al., 2015) con andamiaje (Tena, 2022) para facilitar su lectura y la construcción de conclusiones por el alumnado.

– Dimensión epistemológica:

- Alejado del diseño final: demostración y observación (D1, D2, D3).
- Cercano del diseño final: toma de datos de fuentes fiables, indefinición de las variables a medir (D4).
- Coincidente con el diseño final: toma de datos de fuentes fiables, con experimentos históricos y medición, limitando o no los diferentes factores que afectan al crecimiento de la planta (D5 y D6).

Dimensión didáctica

Esta dimensión pone de manifiesto que a pesar de que todos utilizamos como herramienta de diseño los ciclos de indagación (Jiménez-Liso, 2020) y modelización (Couso, 2020), la propia tarea de diseño hace que aflore el enfoque de enseñanza implícito que cada uno/a maneja. De esta

manera, D1 comienza con el análisis del currículo oficial para fundamentar su propuesta, mientras que D5 usa como fundamento las grandes ideas de Harlen (2010), las concepciones alternativas sobre fotosíntesis y el contenido científico (López-Gay, 2012). El resto de diseñadores/as no explicitan esos fundamentos.

D1, al plantear el visionado de vídeos sobre la problemática de la contaminación atmosférica, sitúa la SEA en un enfoque de cuestiones sociocientíficas (SSI) a modo de contexto para luego plantear un enfoque POE (pregunta, observación, explicación). Este mismo enfoque más puro se pone de manifiesto en D2, mientras que D3 usa las 5E de Bybee (2014), también centradas en la observación. Los diseños D4, D5 y D6 se ajustan más al ciclo de indagación (D4, D5) mientras que en D6 se ven tintes de poner en conflicto cada una de las concepciones alternativas al más puro estilo de los programas guía de actividades (Gil y Martínez, 1987), próximos al cambio conceptual. El debate ocasionó que tomáramos la decisión de incorporar al diseño final la propuesta de buscar artículos auténticos de investigación sobre el crecimiento de las plantas en torno a cada factor (D4), evitando el enfoque de cambio conceptual (concepción alternativa-conflicto cognitivo). Queremos hacer una especial mención a que una vez encontrados los artículos y diseñados resúmenes en formato dossieres (Tena, 2022), tras una estancia de la investigadora principal de este estudio en la UAB, incorporamos la técnica del puzle gracias a la propuesta de la segunda autora de este trabajo.

– Dimensión didáctica:

- Alejado del diseño final: enfoque de enseñanza SSI y observación: D1.
- Cercano del diseño final: enfoques de enseñanza POE y 5E, centrados en la observación de una demostración: D2 y D3.
- Coincidente con el diseño final: enfoque de enseñanza de indagación y/o modelización: D4, D5 y D6.

Para visualizar estos resultados hemos construido la Figura 1 en la que hemos querido representar a modo de diana la distancia a la que se encuentra cada diseño inicial (el número de cada diseño corresponde con el número asignado a cada diseñador/a) del diseño colectivo final, teniendo en cuenta cada una de las cuatro dimensiones seleccionadas.

En la Tabla 1 sobre las características de los/las diseñadores/as indicamos que el orden era intencional de manera que se facilitara la representación gráfica (D1 el más alejado y D5 y D6 los más cercanos).

Como podemos observar en la Figura 1, D1 realizó el diseño más alejado al diseño final en todas las dimensiones, interpretamos esa distancia por las características de D1 que se graduó en Educación Primaria y tomó como punto de partida el currículo oficial de Primaria. Este hecho hizo que el contenido seleccionado para que aprendieran sus estudiantes fuera un contenido reflejado en el currículo de Primaria, en 5º curso concretamente (que las plantas expulsan O_2), así como el contexto seleccionado, alineado con ese contenido, y ello le llevó a plantear una propuesta interesante centrada en cuestiones sociocientíficas (contaminación del aire). Además, es uno/a de los/as diseñadores/as que planteó actividades concretas dirigidas al estudiante, en vez de indicaciones para el docente, incluido en la fase de búsqueda de pruebas (demostración en su caso). Las características de D2 y D3 son bastante similares y esto se traduce en propuestas de diseños iniciales muy parecidas también. Por un lado, son los miembros con menor tiempo de participación en el grupo y, por otro lado, ambos/as realizaron un doctorado en ciencias ambientales (Botánica).

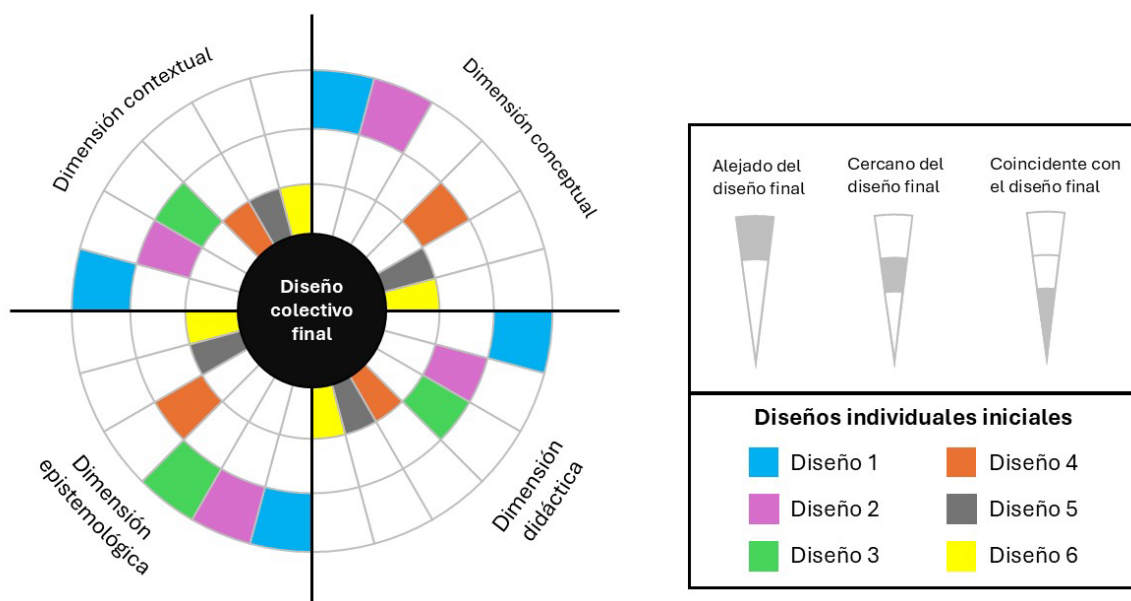


Figura 1. Gráfico diana para representar la proximidad/lejanía de cada diseño inicial individual al modelo colectivo final en las cuatro dimensiones analizadas.

Ambos/as diseñadores/as contextualizan sus propuestas en la respiración de las plantas y ponen el foco en el intercambio gaseoso y en construir la idea de que fotosíntesis y respiración son procesos opuestos, muy centrado en una mirada del contenido científico a aprender. Sus propuestas basan la búsqueda de pruebas precisamente en eso, proponiendo como actividad la observación de un experimento de tipo demostración, uno/a de ellos/as alineado con un enfoque de enseñanza 5E que había utilizado en trabajos previos.

Por último, D4, D5 y D6 son los/as diseñadores/as con mayor tiempo de participación en el grupo y con más experiencia en formación docente en DCE (quince años en el caso de D5 y más de quince años en los casos de D4 y D6), todos/as con un doctorado en DCE. Sus diseños son los más cercanos al diseño colectivo final, especialmente D5 y D6 cuyas aportaciones fueron incluidas en el diseño colectivo final. Precisamente por el amplio tiempo formando parte del grupo Sensociencia, en lo que respecta a la dimensión didáctica, todos/as coincidieron en mantener el enfoque de enseñanza de indagación, que es el utilizado habitualmente en el grupo, con D6 incorporando la modelización. Estos tres participantes decidieron evitar poner el foco en el intercambio gaseoso para poner en conflicto la concepción alternativa del alumnado de confundir ambos procesos: respiración de la planta y fotosíntesis. Para ello, en los tres casos decidieron cambiar el foco a los factores que necesitaba una planta para alimentarse (D4) y más concretamente para crecer (D5 y D6). Asimismo, la pregunta o contexto de la que parten viene determinada por ese conocimiento que quieren que aprendan sus estudiantes, coincidiendo con el contexto que finalmente conforma el diseño colectivo final: el crecimiento de una planta y lo que necesita para llevarlo a cabo. Finalmente, en lo que respecta a la dimensión epistemológica, en estos tres diseños experimentales se plantean actividades (D6) para la búsqueda de pruebas basadas en fuentes fiables (D4) y en experimentos históricos (D5 y D6) con la finalidad de que implícitamente los/as estudiantes pongan en conflicto una idea de ciencia empirista y atórica basada en demostración y observación.

Toma de decisiones y co-construcción de la SEA “Foto-Síntesis”

En este apartado y recogiendo los consensos y disensos que han emergido en el apartado anterior al comparar las propuestas individuales, pasamos a dar respuesta a la segunda pregunta de

investigación (*¿Qué consensos y disensos emergen al comparar las propuestas individuales y cómo se integran en la co-construcción de la SEA de fotosíntesis por indagación y modelización?*), en concreto, cómo han contribuido cada diseño individual en el diseño colectivo final. Para ofrecer una visión gráfica, hemos creado la Figura 2 en la que mostramos en el ciclo de indagación el diseño colectivo final (González-Herrera, 2026) con las distintas actividades de la SEA “Foto-Síntesis”, así como las contribuciones de cada diseño individual que se han incorporado o han inspirado en la elaboración del diseño final. De esta forma, en la Figura 2 mostramos en cuadros de colores (en el mismo color de diseñador/a que aparece en la Figura 1) qué diseño inicial ha contribuido a cada fase del diseño colectivo final.

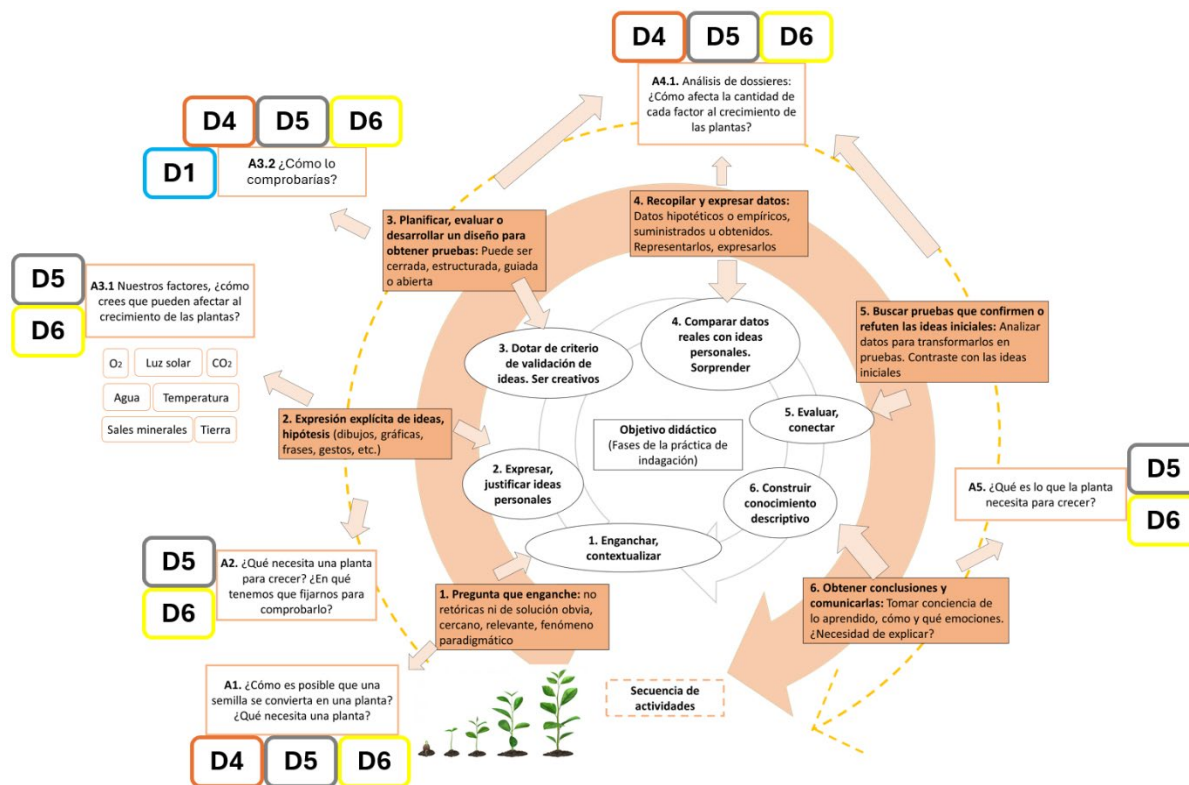


Figura 2. Ciclo de indagación final resultante del diseño cooperativo y diseños iniciales que contribuyeron a su diseño.

La primera decisión a valorar venía condicionada por la propia tarea de diseño preestablecida y referida a la dimensión conceptual: evitar poner el foco en el intercambio gaseoso, pues era la dificultad del alumnado de diferenciar los procesos de respiración y fotosíntesis y que habíamos detectado en la implementación de un SEA sobre seres vivos (Martínez-Chico et al., 2020). Debían evitar identificar fotosíntesis y respiración como procesos análogos, centrados en el intercambio gaseoso. Esto nos llevó a poner el foco en los *inputs* o aquellos factores que una planta necesita para crecer y, por tanto, seleccionar la gran idea de la ciencia a construir más completa de todas: Las plantas producen su propia materia orgánica mediante la fotosíntesis, utilizando luz, agua y CO₂, lo que las convierte en la base de la nutrición de otros seres vivos y del flujo de energía en los ecosistemas. En esta dimensión centramos el debate entre utilizar el término “las plantas se alimentan” o “las plantas crecen”, y nos decantamos por esto último por decisiones relacionadas con la epistemología de la ciencia.

En consecuencia, la segunda decisión que tomamos fue referida a la necesidad de que la SEA hiciera vivir al alumnado una visión problematizada de la ciencia en construcción, combinando la identificación de sus ideas personales con hipótesis a contrastar, evaluando qué pruebas nos harían falta para contrastarlas y generando procesos reflexivos (*minds-on activities*) de modelización. El

debate fue muy rico sobre qué visiones distorsionadas de la ciencia transmitíamos si, pese a plantear preguntas abiertas y contextualizadas, todo lo reducíamos a una demostración observable. Por ello, decidimos evitar experimentaciones que se traducían en demostraciones, y decidimos buscar artículos auténticos de investigación para esta fase de búsqueda de pruebas. De esta forma, y fruto del debate entre los/as participantes, surgió la idea de crear dosieres con adaptaciones de artículos de investigación auténticos que estudiaran cómo afectaba cada factor al crecimiento de una planta.

La mayoría de las preguntas diseñadas podían ser utilizadas como inicio de la secuencia, una abría el contexto hacia una controversia sociocientífica (bosques como pulmones del planeta), otras hacia la concepción alternativa de no dormir con una planta, otras hacia el alimento de la planta (despensa) y otras cerraban la pregunta hacia lo académico y la búsqueda de factores que intervenían en el crecimiento de la planta. Optamos por quedarnos con esta última pregunta porque nos permitía la coherencia con los dosieres anteriores y porque ponía el foco en el crecimiento, lo que nos permitía enlazar con el modelo científico a construir (C, O, H y luz para aumentar el tamaño de una hoja por un modelo de partes que se reorganizan, tipo mecano). No hemos incluido el ciclo de modelización, pues fue diseñado a partir del ciclo de indagación sin diseños individuales sino con aportaciones colectivas.

De esta manera, comprobamos si con las actividades planteadas cumplíamos las características del enfoque de enseñanza por indagación y modelización (cuarta dimensión analizada) y dejamos para futuras investigaciones el debate surgido sobre las similitudes y diferencias entre POE, 5E, programa guía de actividades y MBI.

Conclusiones

La implementación del producto curricular no mide la calidad del diseño sino la efectividad de la SEA. Por ello, en este artículo nos hemos focalizado exclusivamente en la evaluación preliminar del diseño y hemos podido concluir, atendiendo a las preguntas planteadas que: 1) la calidad de un diseño de SEA puede evaluarse preliminarmente a través del análisis contextual, conceptual, epistemológico y didáctico; 2) a pesar de compartir principios de diseños similares, este análisis cuádruple de los diseños individuales muestra diferencias entre ellos que denotan, por un lado, las diferencias de experiencia en diseñar y, por otro lado, de cara a la formación continua y a confluir en esos principios grupales, la necesidad de explicitarlos para favorecer la co-construcción de diseños; 3) una buena estrategia para ello es realizar tareas de diseño individual-colectivo como la propuesta en este trabajo con diferentes focos, partiendo de una concepción alternativa reconocida, partiendo de la clarificación conceptual (Amettler et al., 2005) o partiendo del uso de los ciclos de indagación y modelización. Estas tareas de diseño con el debate sobre qué incluir y qué no, nos ayudan a la operacionalización del proceso de diseño en nuestro contexto educativo y tiene implicaciones para enseñar a docentes o investigadores cómo diseñar y a destacar la necesidad de evaluar el diseño repetidamente antes de su implementación.

Esta operativización que queremos ir construyendo con este artículo y futuras investigaciones, también está vinculada a los procesos de ingeniería y su didáctica (Couso y Simarro, 2022), pues tiene repercusiones para comparar SEAs con diferentes principios y herramientas de diseño. La comparativa de los diseños individuales descrita en este artículo es un objetivo metodológico en sí mismo, porque contribuye a operativizar diseños discordantes y a que estos contribuyan al diseño final justificando la proximidad o lejanía al diseño “diana”. Al superponer las diferentes actividades que cada diseñador/a plantea e interpretarlo a la luz de las cuatro dimensiones de análisis, estamos proponiendo un proceso metodológico de análisis extrapolable a la comparación

de otros diseños, en la línea de Obczovsky et al. (2025) de explicitar las decisiones concretas de diseño y cómo justificarlas. También, la propia tarea de diseño, además de ejercicio del grupo investigador para diseñar colectivamente, funciona como una herramienta formativa de docentes y de investigadores, pues se puede plantear una progresión de aprendizaje de cómo diseñar con los diferentes puntos de partida antes señalados: currículo oficial para unos; concepciones alternativas; modelo científico para otros; enfoque de enseñanza; etc.

En este artículo hemos querido detenernos en la evaluación interna del proceso de diseño antes de su primera implementación. Para ello, hemos tomado como ejemplo tareas de diseño en otros ámbitos (por ejemplo, el interiorismo, capítulo 2 de la serie Interior Design Masters) y planteamos al grupo de investigación Sensociencia la tarea de generar diseños individuales para en una puesta en común colectiva detectar, por un lado, los principios de diseño que subyacen implícitamente y, por otro, la toma de decisiones colectivas que alimentan el diseño final.

En los procesos evaluativos se suele atender a la medida de la calidad como el grado en que un servicio cumple las expectativas y necesidades para las cuales fue concebido (Harvey y Green, 1993). En este sentido, la calidad de un diseño de SEA se refleja en la relevancia, eficiencia y efectividad (Rossi et al., 2003). La relevancia en diseños de SEAs guarda mucha relación con la validez (coherencia interna y teórica) descrita por Tena y Couso (2023) y debe ser medida antes de cualquier implementación de la secuencia.

En este artículo, además de poner el foco en las dimensiones a tener en cuenta para el diseño, las teorías humildes (Guisasola et al., 2021) o los principios de diseño, queremos destacar la necesidad de evaluar el diseño reiteradas veces antes de implementarlo. Si hacemos la analogía con la ingeniería de caminos, ¿nos imaginamos que los y las ingenieros/as tuvieran que construir los puentes que están diseñando para ver si “funcionan”? Por tanto, ¿no deberíamos investigar qué aporta realmente cada diseño antes de ensayarlo en el aula?

Nuestra aproximación a la investigación de diseño consiste en llegar al aula con los andamios bien asentados. Para ello, evaluamos la calidad del diseño antes de implementarlo y construimos puentes entre el contenido a aprender y las ideas previas del alumnado. Esos puentes deben ser transitables para perfiles de aprendizaje diversos y deben atender tanto a las exigencias cognitivas del contenido (como la fotosíntesis) como a las concepciones del alumnado: ambos extremos del puente y la distancia que los separa.

En futuras investigaciones, queremos ampliar el número de participantes, diversificar su formación inicial, su experiencia profesional, incluyendo a docentes en activo de diferentes niveles educativos, así como diferentes grupos de investigación con el objetivo de encontrar perfiles en los/as participantes que también pueden contribuir a esa operativización que demandamos.

Agradecimientos

Al equipo de Sensociencia (SEJ615) participante en este trabajo por explicitar su toma de decisiones y por contribuir en un debate tan inspirador y enriquecedor. Al profesorado del curso “comunicación efectiva” del programa de doctorado DIDACIENCIAS porque nos inocularon el “gusano” de generar representaciones visuales desde la mirada del análisis y de la interpretación de los colores, formas, etc. A las personas revisoras de la Revista Eureka porque sus aportaciones constructivas han mejorado mucho este manuscrito. A los proyectos PID2023-150682NA-I00, PID2024-160066NB-C21, DGP_PIDI_2024_02689 y PID2020-116097RB-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/, a la beca FPI PRE2021-097331 y, en concreto, por la movilidad a la Universitat Autònoma de Barcelona que realizó la primera autora y fruto de la cual nació este trabajo conjunto. Asimismo, esta investigación se ha financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (PID2022-138166NB-C22b) y se ha realizado dentro del grupo de investigación SGR ACELEC, ref.2021 SGR 00647.

Declaración de autoría

M.G.H.: Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Validación, Gestión de datos, Visualización y Redacción, Revisión y Edición. D.C.L.: Conceptualización, Metodología, Análisis formal y Redacción, Revisión y Edición. M.M.C: Conceptualización, Metodología, Visualización y Revisión. R.J.L.: Conceptualización, Metodología, Análisis formal y Redacción, Revisión y Edición.

Referencias bibliográficas

- Amettler, J., Leach, J., Scott, P., Lewis, J. Y. y Hind, A. (2005). *Utilizar los resultados de investigación en el diseño de secuencias didácticas. El proyecto EPSE (Evidence-informed Practice in Science Education)*. VII Congreso Enseñanza de Las Ciencias.
- Anderson, T. y Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16–25. <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>
- Artigue, M. (1988). La notion de différentielle en mathématiques et en physique dans l'enseignement supérieur. *Publications de l'Institut de Recherche Mathématiques de Rennes*, 5, 1–30.
- Ausubel, D. (1978). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt McDougal.
- Bruner, J. S. (2009). *The process of education*. Harvard university press.
- Bybee, R. W. (2014). Guest editorial: The BSCS 5E instructional model: Personal reflections and contemporary implications. *Science and Children*, 51(8), 10–13.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Scotter, P. V., Carlson Powell, J., Westbrook, A., Landes, N., Spiegel, S., Stuhlsatz, M. M., Ellis, A., Resch, B., Thomas, H., Bloom, M., Moran, R., Getty, S. y Knapp, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness A Report Prepared for the Office of Science Education National Institutes of Health*. Biological Sciences Curriculum Study. www.bscs.org
- Couso, D. (2016). Participatory approaches to curriculum design from a design research perspective. En Springer Netherlands (Ed.), *Iterative design of teaching-learning sequences: Introducing the science of materials in European SCHOOLS* (pp. 47–71).
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Couso, M. R. Jimenez-Liso, C. Refojo, y J. A. Sacristán (Eds.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 63–74). FECYT y Fundación Lilly. Penguin Random House. <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Couso, D. y Roser, P. (2005). *¿Cómo y de qué hablamos los docentes cuando diseñamos unidades didácticas cooperativamente? Estudio etnográfico del trabajo en grupo de profesores de Ciencias de Secundaria mediante análisis discursivo*. VII Congreso Enseñanza de Las Ciencias.
- Couso, D. y Simarro, C. (2022). Didáctica de la ingeniería: tres preguntas con visión de futuro. *Enseñanza de Las Ciencias Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 1–18.
- Design-Based Research Collective (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8.
- Domènech Calvet, A. M., Máquez Bargalló, C., Marbà- Tallada, A. y Roca Tort, M. (2015). La medicalización de la sociedad, un contexto para promover el desarrollo y uso de

- conocimientos científicos sobre el cuerpo humano. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 101–125. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1358>
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477–488.
- Finidori, H. (2025). Configuring Patterns and Pattern Languages for Systemic Inquiry and Design. En, E. Wallingford, U. Zdun, y C. Kohls (Eds), *Transactions on Pattern Languages of Programming V. Lecture Notes in Computer Science* (vol. 14630). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-70810-1_7
- Garrido, A. y Couso, D. (2025). The IPM cycle: An instructional tool for promoting students' engagement in modeling practices and construction of models. *Journal of Research in Science Teaching*, 62(2), 391–425. <https://doi.org/10.1002/tea.21979>
- Gil, D. y Martínez, J. (1987). Los programas-guía de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación En La Escuela*, 3, 3–12.
- González-Herrera, M. *Contribuciones a la Investigación de Diseño a partir de Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje sobre Biología basadas en prácticas científicas*. Tesis doctoral no publicada.
- Grimalt-Álvaro, C., López-Simó, V. y Tena, È. (2025). How Do Secondary-School Teachers Design STEM Teaching–Learning Sequences? A Mixed Methods Study for Identifying Design Profiles. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23(1), 235–260. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10457-3>
- Guisasola, J., Ametller, J. y Zuza, K. (2021). Designing Teaching Learning Sequences with Design Based Research: An emerging research line in science education. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 18(1). https://doi.org/10.25267/REV_EUREKA_ENSEN_DIVULG_CIENC.2021.V18.I1.1801
- Harlen, W. (2010). Principles and Big Ideas of Science Education. In *Association for Science Education (ASE)*.
- Harvey, L. y Green, D. (1993). Defining quality. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 18(1), 9–34.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(1), 45–59.
- Jiménez-Liso, M. R., Martínez Chico, M. y López-Gay Lucio-Villegas, R. (2023). Cómo enseñar a diseñar secuencias de actividades de ciencias: principios, elementos y herramientas de diseño. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 20(3). https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3801
- Jiménez-Liso, M. R., López-Banet, L. y Dillon, J. (2020). Changing how we teach acid-base chemistry: a proposal grounded in studies of the history and nature of science education. *Science and Education*, 29(5), 1291–1315. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00142-6>
- Juuti, K. y Lavonen, J. (2006). Design-Based Research in science education: one step towards methodology. *Nordic Studies in Science Education*, 2(2), 54–68. <http://www.nextpoint>.
- Leach, J. y Scott, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38(1), 115–142.

- López-Banet, L., Aguilera, D., Jiménez-Liso, M. R. y Perales-Palacios, F. J. (2021). Emotional and cognitive preservice science teachers' engagement while living a model-based inquiry science technology engineering mathematics sequence about acid-base. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.719648>
- López-Gay, R. (2012). Los docentes noveles ante la preparación de las clases de ciencias. *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 72, 65–74.
- Marchán-Carvajal, I. y Sanmartí, N. (2015). Criterios para el diseño de unidades didácticas contextualizadas: Aplicación al aprendizaje de un modelo teórico para la estructura atómica. *Educación Química*, 26(4), 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.06.001>
- Martínez-Chico, M., López-Gay, R., y Jiménez-Liso, R. (2017). *Prácticas científicas en la formación inicial de maestros: indagación para describir y modelizar*. X Congreso Internacional Sobre Investigación En Didáctica de Las Ciencias.
- Martínez-Chico, M., Jiménez-Liso, M. R., y Evagorou, M. (2020). Design of a pre-service teacher training unit to promote scientific practices. Is a chickpea a living being? *International Journal of Designs for Learning*, 11(1), 21–30. <https://doi.org/10.14434/ijdl.v11i1.23757>
- Mor, Y. y Craft, B. (2012). Learning design: Reflections upon the current landscape. *Research in Learning Technology*, 20, 85–94. <https://doi.org/10.3402/rlt.v20i0.19196>
- Mor, Y., Ferguson, R. y Wasson, B. (2015). Editorial: Learning design, teacher inquiry into student learning and learning analytics: a call for action. *British Journal of Educational Technology*, 46(2), 221–229. <https://doi.org/10.1111/bjet.12273>
- Mor, Y. y Winters, N. (2008). Participatory design in open education: a workshop model for developing a pattern language. *Journal of Interactive Media in Education*, 1, 12.
- Moraga, S. (2017). *El contexto en la enseñanza de la química: análisis de secuencias de enseñanza y aprendizaje diseñadas por profesores de ciencias en formación*. X Congreso Internacional Sobre Investigación En Didáctica de Las Ciencias.
- Moraga, S., Mariona, E. y Merino, C. (2019). Context in chemistry education: Analysis of pre-service secondary science teacher's teaching and learning sequences. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 16(1), 1–14. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1604
- Münkel-Jiménez, M., Bonilla-Araya, M., Grey-Pérez, A. D. y Herrera-Sancho, O. A. (2020). Awaking interest in science learning: hands-on photosynthesis demonstrations using elodea canadensis and spinacia oleracea. *Journal of Chemical Education*, 97(2), 457–461. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00216>
- NGSS (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. National Academies Press.
- Obczovsky, M., Bernsteiner, A., Haagen-Schützenhöfer, C., y Schubatzky, T. (2025). Systematizing decisions in design-based research: from theory to design. *Science Education*, 109(2), 523–536. <https://doi.org/10.1002/sce.21915>
- Passmore, C. y Stewart, J. (2002). A modeling approach to teaching evolutionary biology in high schools. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3), 185–204. <https://doi.org/10.1002/tea.10020>

- Passmore, C., Stewart, J. y Cartier, J. (2009). Model-Based Inquiry and school science: creating connections. *School Science and Mathematics*, 109(7), 394–402. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2009.tb17870.x>
- Pedrerà, O., Barrutia, O. y Díez, J.R. (2025). Unveiling students' mental models and learning demands: an empirical validation of secondary students' model progression on plant nutrition. *Research in Science Education*, 55, 1399–1426 <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10225-x>
- Plomp, T. (2013). *Educational design research. Part A: an introduction*. En T. Plomp y N. Nieveen (Eds.), *Educational design research* (pp. 10–51). SLO.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Rossi, P. H., Lipsey, M. W. y Freeman, H. E. (2003). *Evaluation: A systematic approach*. Sage publications.
- Sadler, T. D. y Dawson, V. (2011). Socio-scientific issues in science education: Contexts for the promotion of key learning outcomes. *Second international handbook of science education*, (pp. 799-809). Springer.
- Schramm, J. W., Jin, H., Keeling, E. G., Johnson, M. y Shin, H. J. (2018). Improved Student Reasoning About Carbon-Transforming Processes Through Inquiry-Based Learning Activities Derived from an Empirically Validated Learning Progression. *Research in Science Education*, 48(5), 887–911. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9584-0>
- Schwarz, C. V., Passmore, C. y Reiser, B. J. (2017). *Helping students make sense of the world using next generation science and engineering practices*. NSTA Press.
- 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>
- Simarro, C. y Couso, D. (2021). Engineering practices as a framework for STEM education: a proposal based on epistemic nuances. *International Journal of STEM Education*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00310-2>
- Taylor, J. A., Adams, C. T., Westbrook, A. L., Creasap Gee, J., Spybrook, J. K., Kowalski, S. M., Gardner, A. L. y Bloom, M. (2022). The effect of a student–teacher–scientist partnership program on high school students' science achievement and attitudes about scientists. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(3), 423–457. <https://doi.org/10.1002/tea.21733>
- Tena, È. (2022). *Modelitzar i indagar la contaminació atmosfèrica a l'aula de primària. Anàlisi des de la perspectiva de investigació basada en el disseny*. Tesis doctoral.
- Tena, È. y Couso, D. (2023). ¿Cómo sé que mi secuencia didáctica es de calidad? Propuesta de un marco de evaluación desde la perspectiva de Investigación Basada en Diseño. *Revista Eureka*, 20(2). https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2801

- Vílchez-González, J. M. y Perales Palacios, F. J. (2006). Image of science in cartoons and its relationship with the image in comics. *Physics Education*, 41(3), 240–249. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/41/3/006>
- Wandersee, J. H. (1986). Can the History of Science Help Science Educators Anticipate Students' Misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, 23(17), 81–97.
- White, R. T. y Gunstone, R. F. (2008). *The conceptual change approach and the teaching of science*. In *International handbook of research on conceptual change* (pp. 619–628). Routledge.
- 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>
- Zemba-Saul, C. (2017). *Minding the Research–Practice Gap: Promising Approaches for Continuous Innovation in Science Teacher Education*. Congreso Anual de la Association for Science Teacher Education (ASTE), Des Moines, IA, Estados Unidos.