



# ¿Tiene sentido que al tocarse dos frutos se genere una planta “mezcla” de ambos? Sensemaking en el análisis de Modelos de Reproducción Vegetal

José Manuel Sánchez-Robles<sup>1,2</sup>, Leonardo Fabio Martínez-Pérez<sup>3</sup>,  
 María Martínez-Chico<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de educación, Universidad de Almería, Almería, España.

<sup>2</sup>Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Granada, Granada, España.

<sup>3</sup>Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

[Recibido el 25 de octubre de 2023, aceptado el 01 de mayo de 2024]

**Resumen:** La existencia de concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje asociadas a la reproducción vegetal pone de manifiesto la necesidad de revisar los procesos de enseñanza-aprendizaje y la formación docente que ofrecemos con el fin de promover su adecuada enseñanza. Una de las secuencias que diseñamos para formar maestros/as de Primaria a través de un enfoque de Indagación basada en Modelos, se centra en la reproducción sexual en plantas. En este trabajo se analiza una parte de la implementación de esta secuencia, centrándonos, por un lado, en los modelos iniciales identificados en las respuestas de 92 estudiantes a una pregunta contextualizada, y por otro, en el efecto que tiene una actividad colectiva orientada a la evaluación de modelos mediante el uso de analogías para identificar inconsistencias a través de "la búsqueda de sentido" o *sensemaking* con el fin de descartar las alternativas que carezcan de sentido.

**Palabras clave:** indagación basada en modelos; analogías; sensemaking; reproducción en plantas; prácticas científicas.

## Does it make sense that when two fruits touch a ‘mixture’ plant of both is created? Sensemaking in Plant Reproduction Models

**Abstract:** The contrasting conceptions and learning difficulties associated with the subject of plant reproduction highlights the need to examine teacher training and teaching-learning processes. This article reports on part of the implementation of a Model-Based Inquiry sequence focusing on sexual reproduction in plants. The analysis examines the initial models identified in the answers to a contextualized question obtained from a survey of 92 students, and the effect of a collective activity aimed at assessing models through the use of analogies and sensemaking to identify inconsistencies and discard meaningless alternatives.

**Keywords:** model-based inquiry; analogies; sensemaking; plant reproduction; scientific practices.

Para citar el artículo. Sánchez-Robles, J.M., Martínez-Pérez, L.F. y Martínez-Chico, M (2024). ¿Tiene sentido que al tocarse dos frutos se genere una planta “mezcla” de ambos? Sensemaking en el análisis de Modelos de Reproducción Vegetal. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 8(1), 37-53. DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2024.8.1.10002>

Contacto. [jmsr1981@ual.es](mailto:jmsr1981@ual.es), [lemartinez@pedagogica.edu.co](mailto:lemartinez@pedagogica.edu.co), [mmartinez@ual.es](mailto:mmartinez@ual.es)

## Introducción

Los contenidos asociados a la reproducción constituyen uno de los núcleos de la enseñanza de la biología en todos los niveles educativos, ya que ocupan un papel central dentro del currículum y son básicos para entender la realidad, y poder explicar situaciones y fenómenos de la vida cotidiana. Por este motivo, y dadas las dificultades de comprensión asociadas a estos contenidos, en especial en las plantas, se puede entender que la construcción y apropiación de un modelo que explique en qué consiste cada tipo de reproducción y las consecuencias asociadas a nivel de la descendencia que se produce, sea un problema que aún hoy es motivo de investigación en la Didáctica de las Ciencias (Nyberg et al., 2005).

Esta preocupación ha sido alimentada a través de los resultados de investigaciones, que han mostrado la existencia de concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje tanto en estudiantes de Educación Primaria y Secundaria (Lin, 2004; Cisterna et al., 2019; Lampert et al., 2020) como en los docentes en formación y en ejercicio responsables de la enseñanza de estos contenidos (Mateos, 1993; Eugenio-Gozalbo et al., 2022; Fernández-Díaz, 2022).

Lin (2004) caracterizó errores conceptuales y dificultades de aprendizaje sobre el proceso de reproducción de plantas con flores, específicamente haciendo alusión al ciclo de vida, germinación, nutrición y mecanismos de crecimiento y desarrollo. Los estudiantes que participaron en esa investigación consideraron que no es necesario que las plantas tengan flores para formar frutos o que sea posible la reproducción de algunas plantas a partir de raíces o tallos de las mismas. También hicieron alusión a que el óvulo de la flor es quien se convierte en fruto después de la fertilización (en lugar del ovario). Todos estos errores conceptuales tienen como origen la persistencia de concepciones alternativas teleológicas en la que los estudiantes atribuyen características de otros seres vivos como los humanos a las plantas, evidenciando dificultades para construir sentidos más amplios que relacione los procesos fisiológicos, energéticos y ecológicos que abarca la reproducción vegetal. Este estudio recomienda desarrollar propuestas de enseñanza constructivistas que consideren de forma amplia y compleja aspectos morfológicos, fisiológicos, genéticos y ecológicos para comprender el crecimiento y desarrollo de las plantas, estos aspectos pueden comenzar a trabajarse desde el enfoque adoptado en el presente artículo.

En el campo curricular de la formación de futuros docentes de ciencias, Mateos (1993) mostró la persistencia de concepciones alternativas en el aprendizaje de conceptos de botánica, que son la base para construir propuestas de enseñanza que vayan más allá de los esquemas ideales de flores y frutos para que estén más acorde con ejemplos reales. También se ha identificado más recientemente cómo los futuros docentes no consideran la existencia de flores hermafroditas, o de plantas monoicas; de angiospermas sin flores; o asocian la flor al polen, pero no a los óvulos (Eugenio-Gonzalbo, et al. 2022). Esto podría explicarse por la persistencia de concepciones alternativas asociadas al pensamiento espontáneo y teleológico, y todo ello pone de manifiesto la importancia de que los docentes en formación trabajen con ejemplos de especies botánicas diversos y reales, evitando de esta forma la simplificación que circula en libros de texto o materiales web, además de ratificar la importancia de dedicar esfuerzos a diseñar propuestas de enseñanza que contribuyan a la construcción de sentidos coherentes con el conocimiento biológico de las plantas, mediado por la construcción de modelos científicos escolares.

Además de lo expuesto se ha identificado la existencia de un conocimiento fragmentado (Helldén, 2000), más centrado en la memorización de nombres (Frisch et al., 2010) que en dar sentido a los elementos y procesos implicados en la reproducción para explicar la realidad que nos rodea (Acevedo-Díaz, 2004). Este panorama evidencia el predominio

de una forma de abordar la enseñanza que no favorece un aprendizaje de los contenidos funcional y válido para utilizarlo adecuadamente en diferentes situaciones (Cañal, 2012), sino que más bien parece responder a un enfoque principalmente transmisivo, aderezado, en el caso de las plantas, con actividades de rellenar huecos en las partes en un dibujo de flor prototípica (Eugenio-Gozalbo et al., 2022).

Ante este contexto, y dada la importancia de incorporar prácticas científicas en el aula que promuevan un aprendizaje de las ciencias competencial (López-Gay et al. 2020), en el que se prioricen tanto conocer los conceptos y explicaciones a los fenómenos, como la forma de trabajar y construir el conocimiento en el aula (Martínez-Chico et al. 2020; Jiménez-Liso et al. 2021a), hemos diseñado una secuencia de enseñanza que sigue un enfoque de Indagación Basada en Modelos (Model-Based Inquiry o MBI en adelante) para trabajar la reproducción de las plantas (Jiménez-Liso et al., 2019), que incorporamos a nuestra propuesta de formación inicial de maestros/as de Primaria. En este trabajo hacemos zoom en una parte de esta secuencia centrada en: i) promover la expresión y comunicación de ideas ante una pregunta contextualizada en un problema cercano referente a la reproducción cruzada entre variedades de tomate y facilitada por insectos polinizadores; ii) facilitar la discusión y análisis colectivo de estas explicaciones andamiados a través de la consideración de una serie de criterios; y iii) la aportación de analogías en el proceso de evaluación de las explicaciones; todo ello para lograr la dotación de sentido (o sense-making), un proceso que permite evaluar los modelos iniciales utilizados en las primeras explicaciones y que favorece la construcción social de un modelo que resulte válido para todos/as y funcional, que “tenga sentido”.

El objetivo de esta investigación es, por un lado, presentar la propuesta fundamentada de actividades para el andamiaje en el proceso de creación de sentido; y por otro, analizar el efecto de esta propuesta en: favorecer la expresión de modelos iniciales sobre la reproducción en plantas que presenta el alumnado al enfrentarse a una pregunta contextualizada, y en promover el análisis de sus modelos iniciales y la identificación de posibles inconsistencias que le lleven a rechazarlos o modificarlos. Pretendemos contribuir así al conocimiento existente acerca de los modelos que presentan los y las docentes en formación en torno a la reproducción sexual en plantas, y aportar además una propuesta de aula con resultados de implementación en formación inicial.

### **Enfoque de Indagación Basada en Modelos**

Optamos por un enfoque de Indagación Basada en Modelos o MBI (Jiménez-Liso et al. 2021a; Schwarz & Gwekwerere, 2007), por las oportunidades que ofrece para una mejor comprensión de las ideas científicas (Constantinou et al., 2018) y desarrollo de prácticas procedimentales y epistémicas (Osborne, 2014). De las diversas propuestas que se aglutinan bajo este enfoque (Pedaste et al., 2015) consideramos como principal objetivo producir una evolución en las ideas de los estudiantes con la construcción de conocimiento descriptivo, explicativo y predictivo para fenómenos cotidianos (Schwarz et al., 2009; Windschitl et al., 2008), conocimiento que se asocia a un modelo científico escolar (Garrido, 2016; Oliva, 2019) didácticamente transpuesto a partir del modelo científico de referencia, clave para la comprensión científica del mundo (Izquierdo et al., 1999), y que ha de ser construido por el alumnado en aproximaciones progresivas de versiones cada vez más sofisticadas (Couso, 2020). La construcción de estos modelos científicos escolares, como en este caso el de reproducción sexual, no es sencilla, pues los estudiantes traen sus propios modelos intuitivos acerca de los fenómenos, más o menos alejados de los que pretendemos que construyan (Garrido et al., 2022), y aunque los modelos enseñados proporcionen una representación adaptada a la edad, estos deben ser construidos

internamente por el propio alumnado, lo que requiere procesos de andamiaje que demandan recursos externos (Garrido, 2016; Oliva, 2021).

### **El proceso de “dotar de sentido” o Sensemaking y la construcción de modelos**

Se puede apreciar una superposición entre el proceso de construcción de modelos y la construcción de sentido (Odden y Russ, 2019a), ya que este último también se asocia a: un objetivo de aprendizaje de las ciencias (existe una meta clara: las ideas a construir por el alumnado); un proceso cognitivo (marcado por el conocimiento en que se basan los estudiantes y lo que hacen con él), y a la práctica discursiva (la comunicación es clave en facilitar y dar soporte a la construcción de sentido). Además, existe similitud entre los comportamientos asociados a la modelización y la construcción de sentido, ya que en ambos se establecen conexiones con el mundo real, y se coordinan diversas representaciones considerando lo razonable de las propuestas que se formulan para una pregunta que se pretende contestar sobre un fenómeno (Chen et al., 2013).

Pero a pesar de los aspectos en común, la construcción de sentido y la modelización no son lo mismo. Como hemos comentado, nuestro propósito a mayor escala, y el de la modelización, es describir y explicar un fenómeno simplificando esa realidad para favorecer su comprensión científica a través de un modelo científico escolar. Y cuando trabajamos con modelos, además de construirlos y utilizarlos, también hay que evaluarlos y revisarlos (Schwarz et al., 2009), algo que se desarrolla a una escala que es diferente a la que se produce en la construcción de sentidos (Odden y Russ, 2019a). Este último, está asociado a un proceso dinámico del que las personas entran y salen rápidamente. En cambio, la modelización es una actividad formalizada, una de las prácticas básicas de los estándares del NRC (2012) que se lleva a cabo en escalas de tiempo más largas. Además, la construcción de sentido se utiliza para comprender nuevos contenidos, y, aunque los modelos y la modelización también se utilizan para ese propósito, estos se usan además para relacionar nuevas ideas con otros conocimientos o modelos ya asentados (Schwarz et al., 2009).

Por todo ello, como plantean Odden y Russ (2019a; 2019b), el proceso de modelización puede, y a menudo es así, incluir actividades referentes a la construcción de sentido, pero también involucra más procesos (Garrido et al., 2022), a los que, en nuestro caso, añadimos todos los asociados a la indagación, promovidos a través del enfoque MBI (Jiménez-Liso et al. 2019a; 2019b; 2022). Así, si bien nuestra propuesta de enseñanza completa responde a este enfoque MBI y se orienta a la construcción de un modelo científico escolar sobre reproducción que incorpore las ideas clave para describir y explicar fenómenos/situaciones, en el presente estudio profundizamos en una parte de la secuencia dentro de este amplio proceso, asociada a la expresión y valoración de los modelos del alumnado a través de la “creación de sentido” ante un problema/pregunta contextualizada.

## **Metodología**

### **Contexto y participantes**

El presente trabajo profundiza en una parte de una propuesta sobre reproducción en plantas (Jiménez-Liso et al., 2019a) que se incluye dentro de un programa de formación inicial docente centrado en promover las prácticas científicas, implementado en la asignatura Didáctica de las Ciencias Experimentales I (9 ECTS) del 2º curso del Grado de Educación Primaria de la Universidad de Almería.

Los/as participantes fueron 92 maestros/as en formación inicial, matriculados en el curso académico 2022-23 en esta asignatura. Aunque antes de enfrentarse a las actividades que

vamos a presentar ya habían experimentado varias secuencias MBI para aprender contenidos científicos, estando habituados a trabajar a través de prácticas científicas, esta era la primera vez que se sistematizaba el proceso de construcción de sentido. Los antecedentes al comenzar la asignatura es un escaso dominio del contenido científico combinado con una actitud y predisposición negativas hacia las ciencias. Y el lugar de origen y residencia de la mayoría es XXX, muy vinculado a la agricultura intensiva, lo que da más sentido al contexto seleccionado.

### Recogida y tratamiento de la información

Se realizó una investigación cualitativa interpretativa, en la cual la recolección de información no distorsiona el funcionamiento de las clases, y se prioriza que las acciones con este fin contribuyan en términos de aprendizaje (Jiménez-Liso et al., 2019a, Jiménez-Liso et al., 2022). Los instrumentos empleados consistieron en las propias actividades planteadas al alumnado en las clases a través de las plataformas de enseñanza virtual "BlackBoard" y Wooclap (<https://www.wooclap.com/es/>), así como el diario docente.

Inicialmente se analizaron las respuestas dadas por el alumnado ante un problema y pregunta contextualizada (Fig. 1). Dos de los autores realizaron un primer análisis que permitió delimitar las categorías (tipos de modelos utilizados inicialmente) de manera emergente. Categorizaron entonces las respuestas dadas por el alumnado, de forma independiente, y a continuación se compararon los resultados observando una elevada concordancia que finalmente fue completa tras consensuar varios casos en los que había discrepancia. Una vez categorizadas las respuestas, se analizó el peso que presenta cada modelo (inicial) entre el alumnado a través de las frecuencias en cada caso.

Para la realización de las actividades de análisis colectivo de los modelos a través del sensemaking, el/la docente se apoyó en una serie de criterios de análisis que permitió sistematizar el proceso y facilitar la incorporación de analogías que ponían en conflicto las explicaciones alternativas aportadas por el alumnado (Fig. 2). Los resultados de la implementación de esta sesión fueron registrados en el diario docente, aunque sólo se utiliza esta información como apoyo para ilustrar con algunos ejemplos de las aportaciones realizadas.

Por último, se ha analizado el grado de concordancia entre el modelo que reconocen haber utilizado en sus explicaciones, y los resultados de la categorización de estas explicaciones realizada por los autores/as del trabajo, para identificar posibles dificultades en el reconocimiento de sus modelos.

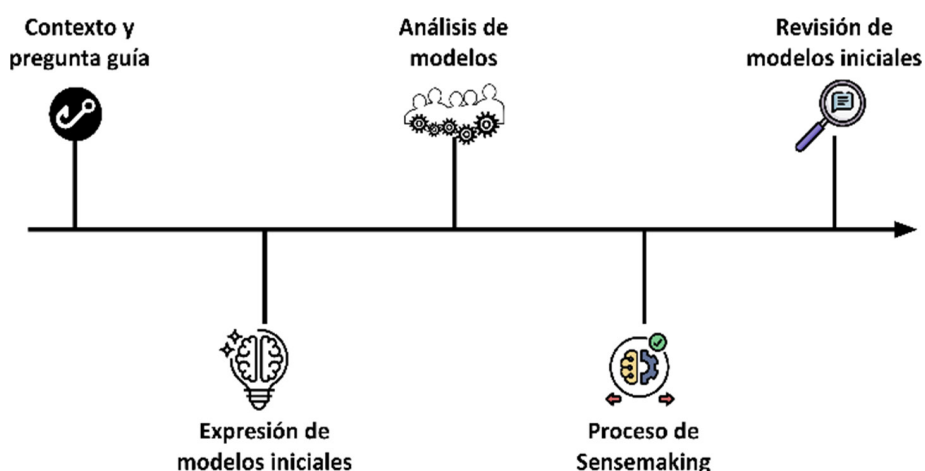
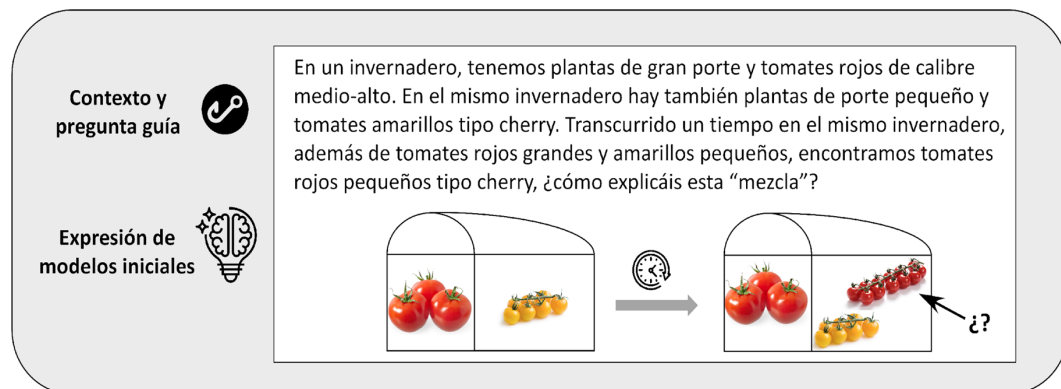


Figura 1. Síntesis del proceso de andamiaje para la construcción de sentido (Sensemaking)

## Andamiaje para la construcción de sentido

Para que este proceso de creación de sentido resulte fructífero y se acepten explicaciones más cercanas a las científicas, la enseñanza puede organizarse a través de actividades concretas que orienten y promuevan: la necesidad de dar una explicación a un fenómeno, la expresión de ideas (o modelos) del alumnado, y la evaluación de éstas para identificar inconsistencias. A continuación, describimos nuestra propuesta de andamiaje para este proceso de creación de sentido. La Figura 1 muestra la síntesis general del proceso y posteriormente se detallan cada una de las actividades de manera fundamentada.


- La actividad inicial (Fig. 2) se orienta a involucrar al alumnado, planteando una situación contextualizada y una pregunta guía que problematiza un fenómeno y da sentido a la enseñanza (López-Gay et al, 2020), y a promover la “expresión del modelo inicial del alumnado” a través de provocar su uso para describir, predecir o explicar un fenómeno paradigmático (Garrido, 2016). Activar de forma explícita las ideas previas de los alumnos es necesario para el aprendizaje de conceptos científicos (Couso, 2020), es por ello que, en primer lugar, planteamos la actividad para que la realicen de forma individual, asegurando así la reflexión y expresión de ideas en todo el alumnado.



**Figura 2.** Actividad orientada a la expresión de ideas a través de una pregunta contextualizada


- A continuación, para la propuesta de sugerencias alternativas (Odden y Russ, 2019a), se incorpora una actividad de “comunicación de las ideas expresadas por el alumnado al gran grupo”, y la agrupación de estas por similitud (según utilicen en sus explicaciones un modelo u otro), lo que, por un lado, promueve el reconocimiento del modelo inicial formulado por cada alumno/a, y por otro, incorpora las prácticas discursivas, esenciales para el aprendizaje de las ciencias (Pozo, 2020).
- Para descartar ideas o explicaciones inconsistentes (Odden y Russ, 2019a), se requiere de una práctica que ayude a poner a prueba los modelos iniciales del alumnado, promoviendo el análisis de la adecuación de estos, y facilitando el estudio en profundidad del fenómeno y/o la obtención de pruebas (Couso, 2020). La actividad que realizamos (Fig. 3) consiste en ir presentando cada uno de los modelos expresados a partir de ejemplos de sus explicaciones y someterlos a “análisis colectivo” (las actividades de obtención y uso de pruebas se realizan en otros momentos de la secuencia), en orden de lejanía-cercanía al modelo científico escolar (comenzando por explicaciones menos sofisticadas para avanzar hacia las más sofisticadas) para lo que se plantearon una serie de preguntas en cada caso que orientan la discusión y andamian el proceso de construcción de sentidos.



<b>Análisis de modelos</b> 	Analiza esta respuesta:	Si/No/No Procede
	¿Da una explicación al fenómeno: Expresa ideas sobre cómo ha ocurrido? (¿Responde a la pregunta “Cómo podemos explicar esta mezcla, qué ha ocurrido?”)	
	En caso de que sí, ¿qué idea hay de fondo (en qué modelo se basa)?	
	¿Identificas inconsistencias o limitaciones? ¿Cuales?	

**Figura 3.** Criterios considerados para el análisis colectivo de todos los modelos iniciales

Al plantear la última pregunta (“¿Identificas inconsistencias o limitaciones?”), es habitual que para mostrar las inconsistencias que identifican, sea el propio alumnado quien haga uso de analogías, pero de no ser así, la/el docente emplea este habitual recurso en la enseñanza de la biología (Marcos-Merino et al., 2021) útil para poner en conflicto las ideas a través de relaciones de similitud entre dos dominios establecidos, uno mejor conocido y más familiar, y otro peor conocido y más alejado de la experiencia (Oliva, 2021). Su incorporación ayuda a entender los fenómenos mediante la comparación de un concepto científico (diana) con un objeto o evento familiar (análogo) (Oliva et al., 2001), facilitando la comprensión de los conceptos científicos, abstractos, haciendo que la nueva información resulte más concreta y sencilla (Marcos-Merino et al., 2021). La discusión y valoración de las distintas propuestas de nuestro alumnado (para identificar si tienen sentido o no sus modelos iniciales) es respaldada con el uso de analogías que les ayude a “poner cara” y reconocer la viabilidad (o no) de las propuestas. La Figura 4 muestra algunos ejemplos de analogías utilizadas en el aula.


<b>Sensemaking</b> 	<b>Ejemplo 1</b> <b>Explicación de la mezcla</b> “El contacto entre dos raíces puede dar lugar a una planta “mezcla” de ambas plantas”  <b>Analogía:</b> “Entonces, si entrelazamos los brazos con los de otra persona, ¿obtendremos una mezcla de ambas?”	<b>Ejemplo 2</b> <b>Explicación de la mezcla</b> “Tener tierra, agua, luz, abono similar... da lugar a que se produzca “mezcla” de las plantas que hay en el lugar”  <b>Analogía:</b> “Entonces, al compartir el medio (misma clase, aire, luz...), ¿tenemos descendencia mezcla?”
---	---	---

**Figura 4.** Ejemplos de analogías utilizadas en el aula para la “creación de sentido”

- Una vez reconocidas las debilidades y fortalezas de las distintas alternativas propuestas en clase, si el proceso se ha realizado con éxito, cada alumno/a consigue comprender el fenómeno en cuestión, al haber realizado esta construcción social de una explicación que logra llenar el vacío en su conocimiento y/o resolver la inconsistencia identificada (Odden y Russ, 2019a). Es decir, llegados a este punto, la respuesta a la pregunta va “cobrando sentido”. Insistimos además en el reconocimiento de sus modelos iniciales a través de otra actividad y de la revisión de

estos indicando las modificaciones que realizarían para poder dar una explicación adecuada a la pregunta planteada (Fig.5).

Reconocimiento y revisión de modelos iniciales

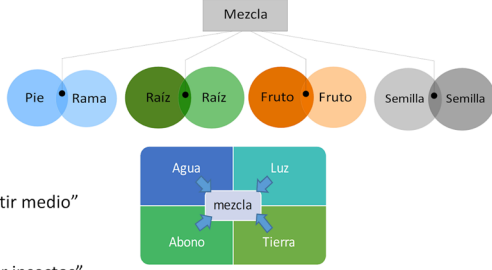


**Identifica con qué ideas o modelos te identificas:**

- Modelo “mezcla al tocarse”
- Modelo “mezcla por compartir medio”
- Modelo “mezcla mediada por insectos”
- Modelo “mezcla por cruce de gametos”
- Modelo “mezcla por cruce de gametos facilitada por polinizadores”
- Otros

A la luz de la discusión mantenida y el análisis colectivo, ¿rechazarías o modificarías tu modelo inicial? ¿En qué sentido? ¿Qué cambios introducirías?

Mezcla

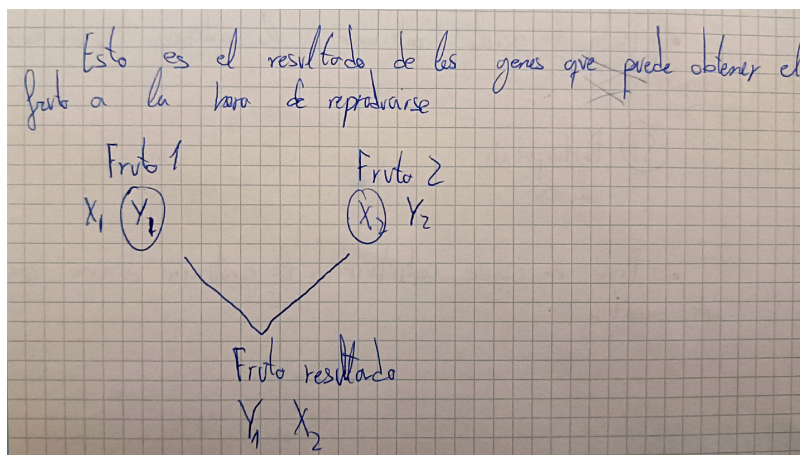


**Figura 5.** Actividades realizadas para reconocimiento y revisión de sus propios modelos iniciales

## Resultados

### Resultados sobre los Modelos Iniciales de Reproducción

El análisis de las respuestas dadas por el alumnado a la pregunta sobre a qué se debe el tomate mezcla (Fig. 2) nos ha permitido identificar 6 tipos de modelos distintos para explicar cómo tiene lugar la reproducción sexual cruzada en plantas (Tabla 1). De los 92 participantes, 68 expresaron una explicación en respuesta a la pregunta formulada, los 24 restantes respondieron a la pregunta, pero sin aportar una explicación sobre la forma en que se había producido la mezcla, limitándose, o bien a repetir información (indicando que el tomate mezcla tiene características de ambas plantas progenitoras), o a concretar probabilidades de caracteres resultantes en la descendencia (mostrando proporciones alélicas) (Fig. 6).



**Figura 6.** Respuesta de un estudiante que no aporta una explicación sobre cómo se ha producido la mezcla (no responde a la pregunta formulada)



Los modelos presentes en las respuestas de los 68 estudiantes fueron muy diversos, aunque existe un claro predominio de dos de ellos: Los referidos a que la mezcla se produce por mero contacto de dos partes de las plantas, y los que consideran que el hecho de compartir el medio hace que aparezcan plantas con tomates mezcla. A continuación, describimos e ilustramos con ejemplos los modelos identificados:

- Modelo “mezcla al tocarse” (26). Las explicaciones dadas asocian el origen de los tomates mezcla a haberse producido un contacto directo entre diferentes partes de las plantas: contacto entre ramas o pie-ramas de las diferentes plantas, como si de un injerto se tratase (3); contacto entre las raíces de las diferentes plantas (6), como se ilustra en la figura 6; contacto entre frutos de las diferentes plantas (2); y contacto/fusión de semillas procedentes de las diferentes plantas (15).

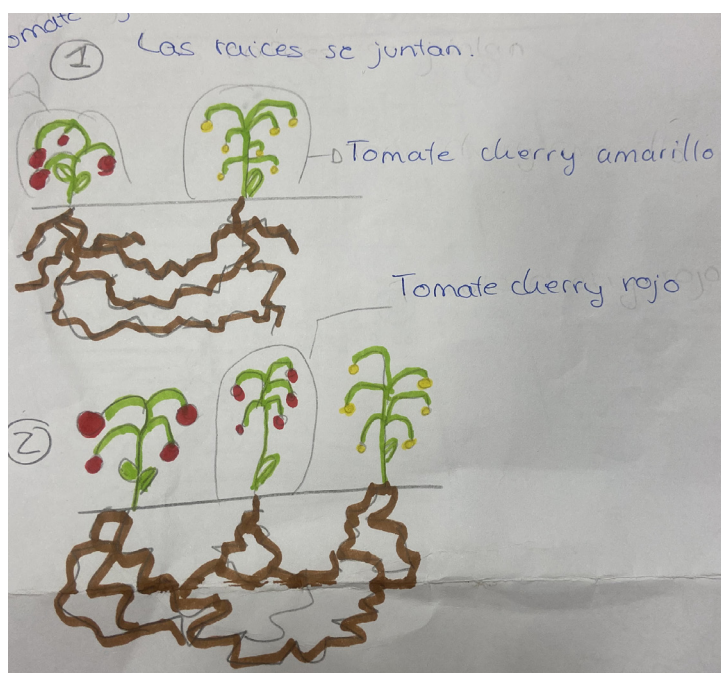


Figura 7. Representación de una explicación de mezcla “al tocarse”

- Modelo “mezcla por compartir el medio” (24). Las explicaciones dadas aluden a que el hecho de estar compartiendo la misma tierra, temperatura, abonos, agua, etc., haría que las plantas convergiesen en un mismo tipo de planta que sería una mezcla de lo que habría de manera previa y los frutos resultantes tendrían características intermedias.
- Modelo “mezcla mediada por insectos” (3). Las explicaciones dadas aluden a la presencia de bichos o insectos que transportan “algo” (sin identificar) como requisito para que se produzca la mezcla. Este tipo de modelo se va aproximando a concepciones más sofisticadas, pero no se llega a profundizar en las estructuras que están involucradas ni se considera el papel clave de los gametos en la generación de esa mezcla.
- Modelo “mezcla por cruce de gametos” (5). Al igual que en el caso anterior, se pueden apreciar explicaciones más sofisticadas que en el caso de los modelos por contacto o por compartir el medio, pero, si bien se alude al polen, equiparándolo en ocasiones a los gametos, no se explica cómo se produce la conexión entre material o información de una planta y de otra, se omite cómo se transporta el polen, y no se especifican las estructuras involucradas.

- Modelo “mezcla por cruce de gametos facilitada por polinizadores” (2). Este modelo, el más sofisticado de los encontrados, incorpora el papel de los polinizadores (insectos en concreto) para transportar elementos involucrados en la reproducción de una planta a otra, habitualmente únicamente polen. No obstante, no explicita las estructuras involucradas.
- Modelo “mezcla artificial de origen antrópico” (8). En esta categoría se han incluido diversas explicaciones con el común denominador de que la mezcla es producida de una u otra manera por la acción humana.

En la Tabla 1 se muestran los distintos modelos identificados, indicando la frecuencia de estos en las explicaciones del alumnado en términos absolutos (n), así como un ejemplo representativo (respuesta literal) de cada categoría. Dichos modelos están ordenados de menor a mayor sofisticación de acuerdo a la concepción científica tratada: la reproducción sexual cruzada en plantas polinizadas por insectos.

**Tabla 1.** Modelos identificados al responder a la pregunta contextualizada. n: frecuencia encontrada para cada modelo.

MODELO EXPLICATIVO		n	RESPUESTA REPRESENTATIVA DEL MODELO
Mezcla artificial de origen antrópico		8	“Pienso que se da porque los tomates "normales" se les introduce una semilla modificada genéticamente y con esto podemos explicar esta mezcla”
Mezcla al tocarse	Rama-Rama o Pie-Rama	3	“Que la planta de cherrys esté pegada a la de tomates rojos y se hayan mezclado propiedades por dentro de la planta”
	Raíz-Raíz	6	“Esto puede ser porque las raíces de ambas se hayan mezclado en un determinado momento, por lo que, los tomates que nos salgan será una mezcla”
	Fruto-Fruto	2	“Las plantas de cada tipo estaban muy cerca las unas de las otras y los frutos de ambas se han mezclado... han nacido tomates rojos tipo cherry teniendo en cuenta lo que predomina en cada planta, en la primera el color en la segunda el tamaño”
	Semilla-Semilla	15	“Al mezclarse distintas semillas, su genética se ha modificado. Ha cogido el color de una y tamaño de otra”
Mezcla por compartir el medio		24	“Al compartir la misma tierra quizá se haya producido una mezcla de las características de ambos”
Mezcla mediada por insectos		3	“Esta mezcla es posible a que aunque las plantas estén separadas hay diferentes insectos que transportan las diferentes sustancias de una planta a otra y eso provoca la mezcla”
Mezcla por cruce de gametos		5	“Como ambas plantas están en el mismo invernadero, los pólenes de cada planta se mezclan, por lo que los genes estarían mezclados y dar cualquier tipo de combinación”
Mezcla por cruce de gametos facilitada por polinizadores		2	“A la hora de la polinización, las abejas han ido dejando células distintas en otras plantas, de los rojos grandes a los amarillos pequeños, por eso el color cambia”

A continuación, se muestra la representación gráfica de las distintas frecuencias (%) de la presencia de cada uno de los modelos iniciales identificados (Fig. 8), incluyendo las respuestas que no aportaban una explicación sobre la causa de la mezcla.

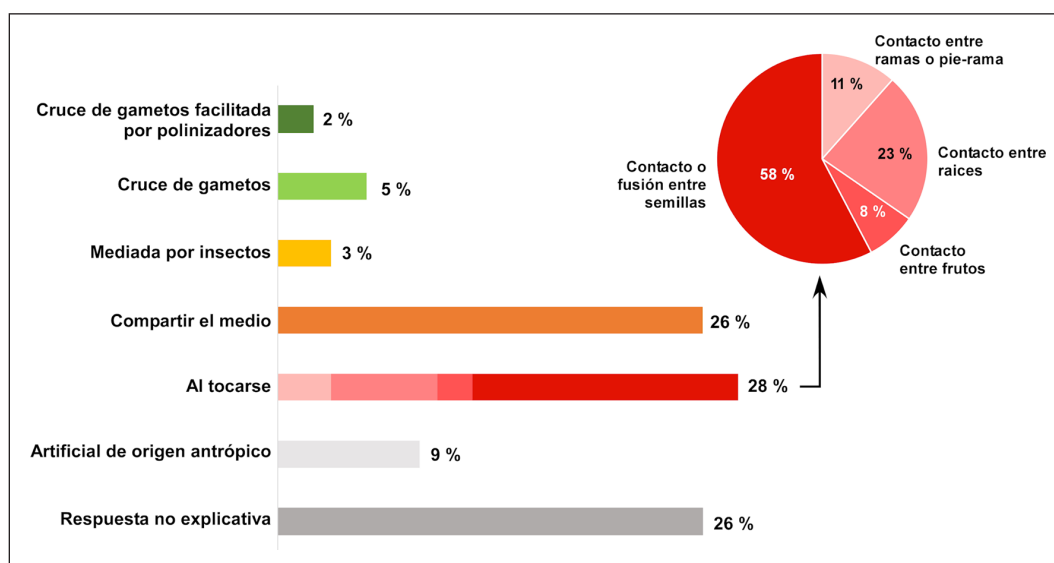


Figura 8. Frecuencia de los modelos identificados

El análisis de la gráfica nos lleva a reconocer la escasa proporción de estudiantes que utiliza un modelo sofisticado de reproducción sexual, aun tratándose de un contenido relevante y muy presente en el currículo.

### Resultados de la implementación del análisis colectivo

La presentación realizada por el alumnado de cada una de las explicaciones dadas, guiada por los/as docentes conllevó la discusión y debate en torno a las mismas a nivel de gran grupo. Se identificaron los distintos modelos y fueron analizados de menor a mayor potencial explicativo a través de preguntas y analogías que los pusieron en conflicto.

En el caso del modelo “mezcla al tocarse”, el más utilizado por el estudiantado, la analogía “Entonces, si entrelazamos los brazos con los de otra persona, ¿obtendremos otra persona mezcla de ambas?” suscitó reflexiones que extrapolaron a comparaciones con los diferentes submodelos. A continuación, se indican algunas reflexiones que se dieron en clase:

“Es verdad, si tenemos muchas frutas juntas en el frutero ¡no se forman nuevos frutos!” (sujeto 1)

“Igual ocurre con las semillas! Muchas se guardan juntas y nunca se fusionan” (sujeto 2)

En el caso del modelo “mezcla por compartir el medio”, el segundo modelo más frecuente, la analogía “Entonces, al compartir el medio (misma clase, aire, luz...), ¿tenemos descendencia mezcla? igualmente tuvo el efecto deseado, fomentando la reflexión y la puesta en cuestión de dicho modelo. Además, dichas reflexiones crearon conexiones con las concepciones alternativas mostradas con anterioridad:

“Pues tiene todo el sentido que no..., antes hemos dicho que si ponemos semillas juntas y se tocan no se produce una mezcla... esas semillas también estarían en el mismo medio...y no pasa nada” (sujeto 3)

Al analizar modelos algo más sofisticados, como el modelo “mezcla por cruce de gametos” surgieron inconsistencias como la manera en la que la “información” de una planta llega hasta otra. Unos estudiantes hicieron las siguientes declaraciones al respecto, acudiendo nuevamente a experiencias vividas en sus entornos más inmediatos:

“he visto que en los invernaderos sueltan abejorros para que polinicen” (sujeto 4)

Con estas declaraciones y reflexiones, el alumnado fue acercándose al modelo más sofisticado, el modelo “mezcla por cruce de gametos facilitada por polinizadores”. No obstante, aunque el tema de la flor y el polen fue abordado, surgieron nuevos interrogantes sobre dónde llega exactamente el polen a la flor o qué estructuras están relacionadas en el proceso.

## Discusión y conclusiones

La relevancia del aprendizaje de la reproducción de las plantas y las dificultades asociadas a esta temática nos han llevado a centrar el diseño y evaluación de una de las secuencias desarrolladas en formación inicial docente en este contenido a través de un enfoque MBI (Jiménez-Liso et al., 2019a). Este trabajo pone el foco en una parte de esta propuesta, incluyendo la descripción y justificación de las actividades diseñadas y el análisis de algunos resultados de su implementación, y está orientada a promover la construcción de sentido. Cuando las personas elaboramos nuestras explicaciones frente a un fenómeno o proceso, utilizamos una mezcla de conocimientos de diferente naturaleza, proponiendo y conectando iterativamente diferentes ideas, a la par que valoramos si esas conexiones e ideas son coherentes, tanto entre sí como con otras ideas de nuestros esquemas mentales (Odden y Russ, 2019a; 2019b). Esta construcción de sentido es un proceso complejo que implica la evolución de explicaciones personales, las cuales pueden cambiar, ser reemplazadas por otras, o fusionarse con la nueva información para formar una nueva explicación (Kapon, 2016). En el andamiaje para construcción de un modelo escolar de reproducción hemos logrado promover este proceso a través de actividades que se han centrado en favorecer: la expresión del modelo inicial del alumnado a través de provocar su uso para explicar un fenómeno paradigmático; la comunicación de las ideas del alumnado al gran grupo y el reconocimiento de sus propios modelos iniciales; así como el análisis colectivo y descarte de ideas o explicaciones inconsistentes utilizando como soporte las analogías.

Las respuestas dadas por los/as futuros/as maestros/as a la actividad para promover la expresión de modelos iniciales confirman los problemas y dificultades encontrados por otros autores sobre la reproducción sexual en plantas (Nyberg et al., 2005), existiendo resistencias y concepciones alternativas que han de ser abordadas en las propuestas de enseñanza para que las explicaciones del alumnado no se mantengan inalteradas y evolucionen hacia modelos más sofisticados sobre dicho proceso.

Reconocer los modelos iniciales que el alumnado presenta, y que estos sean capaces de expresarlos es un factor clave para promover la evolución de los mismos hacia modelos más sofisticados y cercanos a los científicos (Couso, 2020). Los modelos iniciales expresados en las respuestas ante una pregunta contextualizada en una situación-problema real que resulta cercana para nuestro alumnado, ponen de manifiesto el predominio de un aprendizaje memorístico, compartimentado y no funcional, y por ello una falta de comprensión de los procesos involucrados en dicha temática. A pesar de que el alumnado ha trabajado estos contenidos en reiteradas ocasiones a lo largo de su vida como escolares (España, Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2022); y que a priori conocen la estructura de la flor (Castillo et al., 2021), directamente involucrada en la reproducción

sexual (siendo capaces de dibujarlas e incluir, en la mayoría de los casos, los órganos reproductores involucrados en dicho proceso), sin embargo, cuando se plantea una pregunta contextualizada, que requiere de una explicación situacional, no son capaces de aplicar dicho conocimiento, no les es funcional.

Resulta llamativo, el elevado porcentaje de estudiantes que no aporta una explicación (no responde a la pregunta), mostrándose una dificultad quizá asociada a la comprensión lectora, bastante presente entre nuestro alumnado en formación inicial. Pero además se evidencia de nuevo un aprendizaje memorístico y compartimentado, con la presencia de respuestas que ni siquiera responden a la pregunta formulada. Podemos interpretar el resultado como una llamada de atención para que se incorporen actividades orientadas a la expresión y justificación de hipótesis y el análisis de estas, deteniéndonos en identificar si verdaderamente se está comprendiendo y respondiendo a la pregunta planteada, más allá de repetir información.

Por otro lado, la elevadísima presencia de dos modelos entre las respuestas de nuestro alumnado que muestran un conocimiento ingenuo y muy alejado del Modelo escolar de Reproducción Sexual cruzada objeto de enseñanza-aprendizaje, muestra que, aunque en su momento los estudiantes logren memorizar las partes de la flor con sus órganos reproductores incluidos, no los consideran en sus explicaciones como implicados en el proceso necesario para dar lugar a una nueva planta: la reproducción. Es decir, no son capaces de utilizar ese conocimiento de manera funcional para lograr explicar un fenómeno real. Estos resultados pueden verse como una demanda de propuestas de enseñanza que aborden la reproducción de las plantas desde un enfoque diferente al habitual, por ejemplo: partiendo de preguntas contextualizadas en situaciones o fenómenos reales que favorezcan la expresión de modelos personales; así como actividades que ayuden a cuestionarlos para promover una evolución en estos a través de su revisión, apoyándonos en la dotación de sentido y en pruebas como vía para llegar a ese conocimiento que pretendemos aprendan.

Con la implementación de la propuesta hemos podido identificar el potencial de la pregunta con sentido y contextualizada para promover la expresión de ideas/modelos iniciales, pero también cómo el andamiaje proporcionado para promover la construcción de sentido, ayuda a reconocer y poner en cuestión modelos menos sofisticados, en pro de otros más sofisticados.

No obstante, a pesar de estos resultados positivos en cuanto a la realización de actividades para la construcción de sentido, no podemos perder la perspectiva de una enseñanza centrada en prácticas científicas, la cual requiere de la incorporación de actividades propias de la indagación, modelación y argumentación, como de hecho ocurre en el diseño completo (Jiménez-Liso et al., 2019a). Este planteamiento es necesario tanto por las ventajas que conlleva para el aprendizaje de ideas y modelos clave, como por la visión que ofrecen de la actividad y razonamiento científico, esenciales para el fomento la educación de una ciudadanía crítica. Es por ello que el presente trabajo no debe considerarse de manera aislada, sino como una sección de una propuesta MBI mucho más amplia para construir un modelo científico escolar a través de prácticas científicas (Jiménez-Liso et al., 2019a), que abarca además de la reproducción sexual, la asexual, y que incorpora las pruebas como elemento clave en el proceso de construcción de modelos (Jiménez-Liso et al., 2012). Por otro lado, no podemos olvidar que nos encontramos en formación inicial docente y que la vivencia de experiencias de aprendizaje por MBI singulares que ofrezcan un modelo metodológico es necesaria (Ann Haefner y Zembal-Saul, 2004). Pero el efecto es aún mayor si son complementadas con actividades de reflexión explícita sobre la forma de aprender y enseñar (Jiménez-Liso et al., 2022).



## Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos UAL2020-SEJD1784 (FEDER-UE) y PID2020-116097RB-I00 (MCIN/AEI/10.13039/501100011033/). Durante la realización de este trabajo JMSR fue financiado a través de un contrato de excelencia María Zambrano para la atracción de talento (Ministerio de Universidades-Next Generation EU).

Los autores agradecen a los estudiantes que participaron en el presente estudio, así como a dos revisores anónimos, cuyos comentarios en versiones previas mejoraron la presente publicación.

## Referencias bibliográficas

- Acevedo-Díaz, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 1(1), 3-16. Recuperado de: [http://hdl.handle.net/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2004.v1.i1.01](http://hdl.handle.net/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2004.v1.i1.01)
- Ann Haefner, L. y Zembal-Saul, C. (2004). Learning by doing? Prospective elementary teachers' developing understandings of scientific inquiry and science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 26(13), 1653-1674. DOI: <https://doi.org/10.1080/0950069042000230709>
- Cañal, P. (2012). ¿Cómo evaluar la competencia científica? *Investigación en la escuela*, 78, 5-17. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11441/59927>
- Castillo, F.J., Jiménez-Liso, M.R., Martínez-Chico, M. y López-Gay, R. (2021) La flor en Primaria. Secuencia de enseñanza basada en indagación para la formación inicial docente. XI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias. Lisboa, Portugal.
- Chen, Y., Irving, P. W. y Sayre, E. C. (2013). Epistemic game for answer making in learning about hydrostatics. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 9(1), 010108. Recuperado de: <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.9.010108>
- Cisterna, D., Forbes, C. T. y Roy, R. (2019). Model-based teaching and learning about inheritance in third-grade science. *International Journal of Science Education*, 41(15), 2177-2199. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1663561>
- Constantinou, C. P., Tsivitanidou, O. E. y Rybska, E. (2018). What is inquiry-based science teaching and learning? *Professional development for inquiry-based science teaching and learning*, 1-23. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91406-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91406-0_1)
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Couso, M. R. Jiménez-Liso, C. Refojo, J. A. Sacristán (Coords.), Enseñando Ciencia con Ciencia. FECYT & Fundación Lilly. Madrid: Penguin Random House. Recuperado de: <https://ddd.uab.cat/record/220343>
- España, Ministerio de Educación y Formación Profesional (2022). Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria Obligatoria. Boletín Oficial Del Estado, 52, de 2 de marzo de 2022. Recuperado de: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/01/157/con>
- Eugenio-Gozalbo, M., Monferrer, L., Ortega-Cubero, I. y Adelantado-Renau, M. (2022) Estudiando los polinizadores en el contexto del huerto ecodidáctico universitario:

- presentación de una SEA. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 19(3), 3206. DOI: [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2022.v19.i3.3206](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3206)
- Fernández-Díaz, M. (2022). Pre-service teachers' ideas and misconceptions about the nutrition, reproduction and importance of plants: A case study in Spain. *J. Biomed. Res. Environ. Sci.* 3, 930–933. DOI: <https://doi.org/10.37871/jbres1534>
- Frisch, J.K., Unwin, M.M. y Saunders, G.W. (2010). Name That Plant! Overcoming Plant Blindness and Developing a Sense of Place Using Science and Environmental Education. In: Bodzin, A., Shiner Klein, B., Weaver, S. (eds) *The Inclusion of Environmental Education in Science Teacher Education*. Springer, Dordrecht. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9222-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9222-9_10)
- Garrido, A. (2016). Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Recuperado de: [https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2016/hdl\\_10803\\_399837/age1de1.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2016/hdl_10803_399837/age1de1.pdf)
- Garrido, A., Soto, M. y Couso, D. (2022). Formación inicial de docentes de ciencia: posibles aportes y tensiones de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 40(1), 87-105. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3286>
- Helldén, G. (2000). *A longitudinal study of pupils' conceptualisation of the role of the flower in plant reproduction*. 47-59. Paper presented at The Second Conference of European Researchers in Didaktik of Biology, University of Göteborg, November 18-22, 1998.
- Kapon, S. (2016). Unpacking sensemaking. *Science Education*, 101(1), 165–198. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.21248>
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(1), 45-90. Recuperado de: <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21559>
- Jiménez-Liso, R., López-Gay, R. y Martínez-Chico, M. (2012). Cómo trabajar en el aula los criterios para aceptar o rechazar modelos científicos ¿Tirar piedras contra nuestro propio tejado? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 72, 47-54.
- Jiménez-Liso, M. R. J., Giménez, E., Martínez-Chico, M. M., Hernández, F. J. C. y López-Gay, R. (2019a). El enfoque de enseñanza por indagación ayuda a diseñar secuencias: ¿Una rama es un ser vivo? En *Propuestas de educación científica basadas en la indagación y modelización en contexto* (pp. 99-122). Tirant Humanidades.
- Jiménez-Liso, M. R., Avraamidou, L., Martínez-Chico, M. y López-Gay, R. (2019b). Scientific Practices in Teacher Education: The interplay of sense, sensors, and emotions. *Research in Science & Technological Education*, 39(1), 44-67. DOI: <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1647158>
- Jiménez-Liso, M. R. J., Martínez-Chico, M., Hernández, Castillo-Hernández, F. J. y López-Gay, R. (2019c). Miradas en los espejos: reflexiones sobre cómo aprendemos ciencias y cómo la enseñamos. En *Innovación e investigación en la formación inicial del profesorado de Infantil y Primaria desde las didácticas de las ciencias experimentales y sociales*. (pp. 155-176). Octaedro.

- Jiménez-Liso, M. R., Delgado, L., Castillo-Hernández, F. J. y Baños, I. (2021a). Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 39(1), 5-25. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3032>
- Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., Castillo-Hernández, F. J. y López-Gay, R. (2021b). Dos momentos clave en la indagación sobre la sal y la nieve: Asombro (¡oh!) y aprendizaje tácito (¡ajá!). En F. Cañada-Cañada y P. Reis (Eds.), *Actas electrónicas del XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias* (pp. 2117–2120). *Revista Enseñanza de las Ciencias*. Recuperado de: <https://congresoenseciencias.org/actas/>
- Jiménez-Liso, M. R., Bellocchi, A., Martínez-Chico, M. y López-Gay, R. (2022). A model-based inquiry sequence as a heuristic to evaluate students' emotional, behavioural, and cognitive engagement. *Research in Science Education*, 52(4), 1313-1334. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10010-0>
- Lampert, P., Müllner, B., Pany, P., Scheuch, M. y Kiehn, M. (2020). Students' conceptions of plant reproduction processes. This paper was presented at the ERIDOB conference 2020. *Journal of Biological Education*, 54(2), 213-223. DOI: <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1739424>
- Lin, S. W. (2004). Development and application of a two-tier diagnostic test for high school students' understanding of flowering plant growth and development. *Int J Sci Math Educ*, 2, 175-199. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10763-004-6484-y>
- López-Gay, R., Liso, M. R. J., Chico, M. M. y Hernández, F. J. C. (2020). Evidencias para la mejora de la enseñanza de las ciencias. *Dossier Graó*, (5), 39-43.
- Marcos-Merino, J. M., Esteban, R. y Ochoa de Alda, J. A. G. (2021). Analogías propuestas por futuros maestros para la enseñanza de Biología: implicaciones en la formación inicial. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(1), 73-86. DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.1.6675>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.14434/ijdl.v11i1.23757>
- Mateos, A. (1993) Ideas previas en la Botánica. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 11(2), 130-136. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4528>
- National Research Council (2012). *Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century*. National Academies Press.
- Nyberg, E., Andersson, B. y Leach, J. T. (2005). Elementary School Students Understanding of Life Cycles. In *Trends in biological education research in the new biological era. Proceedings of the Vth Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB), Patras, Greece*. pp. 27-41.
- Odden, T. O. B. y Russ, R. S. (2019a). Defining sensemaking: Bringing clarity to a fragmented theoretical construct. *Science Education*, 103(1), 187-205. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.21452>
- Odden, T. O. B. y Russ, R. S. (2019b). Vexing questions that sustain sensemaking. *International Journal of Science Education*, 41(8), 1052-1070. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1589655>

- Oliva, J. M., Aragón, M. M., Mateo, J. y Bonat, M. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(3), 453-470. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3994>
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias didácticas*, 37(2), 5-24. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Oliva, J. M. (2021). Líneas y resultados de investigación en torno a la dimensión instrumental de la modelización en la enseñanza de las ciencias. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(2), 01-16. DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7629>
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A., Kamp, E. T., ... y Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational research review*, 14, 47-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Pozo, J. I. (2020). Aprender ciencias es reconstruir las ideas personales por medio del diálogo con otras personas y otros conocimientos. En D. Couso, R. Jiménez-Liso, C. Refojo y J. A. Sacristán (coord), Enseñando ciencia con ciencia (pp 20-29). Madrid, España: FECYT. Recuperado de: <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Schwarz, C. V. y Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science education*, 91(1), 158-186. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20177>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... 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: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. DOI: <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Windschitl, M., Thompson, J. y Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science education*, 92(5), 941-967. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20259>