



Interdisciplinariedad en educación secundaria: un recorrido de estudio e investigación

Interdisciplinarity in Secondary School Education: a Study and Research path

Susana Vázquez, Berta Barquero, Marianna Bosch
Facultad de Educación, Universitat de Barcelona, Barcelona
susanavasquez@ub.edu, bbarquero@ub.edu, marianna.bosch@ub.edu

RESUMEN • Partimos de la hipótesis de que la separación entre disciplinas dificulta la enseñanza basada en la indagación y que generar entornos interdisciplinarios la facilita cuando los contenidos disciplinares se ponen al servicio del estudio de cuestiones, superando las limitaciones de la organización escolar por materias. Estudiamos esta conjetura a través de la propuesta de recorridos de estudio e investigación (REI), según la teoría antropológica de lo didáctico. Presentamos un REI sobre la evolución de la COVID-19 implementado durante dos años consecutivos en 4.º curso de la educación secundaria española (15-16 años), en un trabajo conjunto entre las asignaturas de Matemáticas, Tecnología, Biología y Comunicación. Los resultados muestran que el entorno interdisciplinar promueve dinámicas de indagación, pero que para que sea sostenible es crucial preservar espacios de trabajo disciplinar.

PALABRAS CLAVE: Interdisciplinariedad; Modelización; Recorridos de estudio e investigación; Educación secundaria; Pandemia.

ABSTRACT • We start from the hypothesis that the school separation between disciplines hinders inquiry-based teaching. Creating interdisciplinary environments facilitates this approach when disciplinary content is utilized in the study of problematic issues, surpassing the limitations of school organization by subjects. We investigate this conjecture through the proposal of study and research paths (SRP) taking into consideration the Anthropological Theory of the Didactic. We present an SRP on the evolution of COVID-19 implemented over two consecutive years in the 4th year of Spanish secondary school education, through collaborative work between the subjects of Mathematics, Technology, Biology, and Communication. The results indicate that the interdisciplinary environment fosters inquiry dynamics, but for it to be sustainable, it is crucial to preserve spaces for disciplinary work.

KEYWORDS: Interdisciplinarity; Modelling; Study and research paths; Secondary school; Pandemics.

Recepción: agosto 2023 • Aceptación: junio 2024 • Publicación: noviembre 2024

INTRODUCCIÓN

La enseñanza secundaria actual estructura los contenidos curriculares en materias que corresponden a diferentes disciplinas académicas. La última reforma educativa en España (Jefatura del Estado, 2020) permite a los centros agrupar materias en «ámbitos» y «establecer organizaciones didácticas que impliquen impartir conjuntamente diferentes materias de un mismo ámbito» (Jefatura del Estado, 2020, p. 122891). Esta medida ha generado debate, con defensores que argumentan que esto puede empobrecer el estudio de las disciplinas y detractores que sostienen que la separación entre materias limita el estudio de cuestiones socialmente relevantes. Como ejemplo local, el programa STEAMCat¹ se define como un enfoque global y transversal que utiliza situaciones problemáticas contextualizadas para trabajar ciencias, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas. Movimientos internacionales como STEM buscan hacer evolucionar la estructura disciplinar de los currículos hacia un modelo educativo interdisciplinario que contribuya a dar mayor visibilidad al mundo de la tecnología y de la ingeniería en la escuela (Sanders, 2009; Michelsen y Sriraman, 2009). Estas propuestas han sido criticadas, entre otras cuestiones, por su falta de integración curricular (Toma y García-Carmona, 2021), aunque se reconoce una necesidad de establecer relaciones y contenidos para dotarlas de utilidad y relevancia para el alumnado.

Estudios en países como Canadá (Hasni et al., 2015), Dinamarca (Rasmussen, 2016) o Brasil (Fidalgo-Neto et al., 2014) han abordado también los retos que surgen cuando se promueven propuestas interdisciplinarias. Estos estudios coinciden en que la falta de apoyo y competencia docente obstaculiza el desarrollo de enfoques interdisciplinarios y que la interdisciplinariedad conseguida es superficial, sin lograr la integración efectiva de las materias para resolver problemas complejos. Algunos autores han dedicado esfuerzos para favorecer y guiar la aplicación de propuestas interdisciplinarias (Lenoir y Hasni, 2016), en concreto, en el ámbito de la enseñanza de las ciencias (Broggy et al., 2017). En la enseñanza de las matemáticas, English y colaboradores ponen de manifiesto el potencial de las propuestas interdisciplinarias para el estudio de problemas de modelización realistas (English y Watters, 2005; English, 2008 y 2009).

Para superar las limitaciones que puede suponer el encorsetamiento disciplinar, desde la teoría antropológica de lo didáctico (TAD; Chevallard, 2013) se propone un tipo de dispositivo didáctico denominado «recorrido de estudio e investigación» (REI) como medida para avanzar hacia un cambio de paradigma pedagógico –el paradigma del cuestionamiento del mundo– que permita poner el estudio de cuestiones en el centro de los procesos de enseñanza escolares, y para abordarlas desde una perspectiva abierta, «no disciplinar». Esto no implica abandonar las disciplinas o los saberes disciplinares, sino supeditar su estudio a la necesidad de aportar respuestas a las cuestiones que se aborden. La TAD está desarrollando una línea de investigación centrada en el estudio de las condiciones necesarias para la transición hacia este nuevo paradigma, así como las restricciones que aparecen en distintos niveles de codeterminación didáctica (Chevallard, 2002) (disciplinares, pedagógicos, escolares, sociales); restricciones que dificultan la transición hacia el paradigma del cuestionamiento del mundo. Estas investigaciones se están desarrollando desde hace años, especialmente por investigadores de Argentina, Dinamarca, España, Francia y Japón, tanto en el ámbito de la enseñanza universitaria y la formación del profesorado como en la educación secundaria (véase, por ejemplo, Barquero et al., 2021; Bosch et al., 2020; Parra y Otero, 2018). Nuestro trabajo se inscribe en esta línea, como desarrollaremos más adelante.

Como afirma Rasmussen (2016), un paradigma donde lo importante son las cuestiones nos obliga a pensar en que las preguntas de importancia social rara vez pueden ser abordadas desde una única

1. <https://projectes.xtec.cat/steamcat/>

disciplina, por lo que los REI podrían ser especialmente atractivos en estos contextos. Hasta la fecha, y salvo algunas excepciones (Gazzola et al., 2021; Jessen, 2014; Sala et al., 2020), la mayoría de las investigaciones sobre los REI se han circunscrito al diseño e implementación de propuestas dentro de una única disciplina (Barquero et al., 2021; Bosch, 2018). Esto no significa que la cuestión abordada y las herramientas utilizadas sean monodisciplinarias, pero el marco de realización era una asignatura concreta con un o una docente especialista en la materia asociada. La opción de organizar un REI entre distintas disciplinas ha sido poco estudiada.

El nuevo currículum español (LOMLOE, 2020) destaca un aprendizaje competencial y funcional, enfocado en la utilidad en contextos reales. Se introducen las *situaciones de aprendizaje*, que plantean problemas o preguntas en contextos reales. Este nuevo planteamiento representa un escenario favorable tanto para la interdisciplinariedad como para el cambio de paradigma, pero su falta de concreción desorienta a los docentes y genera diversas demandas (Domènech-Casal, 2022).

La pandemia de la COVID-19 creó un cambio cultural importante en la relación de nuestras sociedades con las distintas disciplinas y con la investigación y su difusión (Maass et al., 2022; Saltelli et al., 2020). Por un lado, se puso de manifiesto la importancia de la investigación biológica, epidemiológica, médica, económica y social para abordar, en tiempo real, un problema socialmente relevante que afectaba a toda la humanidad. Por otro lado, quedó claro que las respuestas a los problemas de la pandemia requerían más que nunca la colaboración entre expertos de distintas disciplinas, y se evidenció la pertinencia de las matemáticas como herramienta de modelización para abordar problemas de la vida real.

El estudio de Cunningham et al. (2021) aporta pruebas empíricas del aumento de la multidisciplinariedad y la colaboración en la investigación sobre COVID-19, lo que sugiere que la pandemia ha facilitado una mayor integración entre los distintos campos científicos.

La propia problemática de la COVID-19 ha generado algunas propuestas didácticas en los diferentes niveles educativos, aunque mayoritariamente en un entorno monodisciplinar (Elsner et al., 2023; Ledder, 2021; Trelles-Zambrano, 2022; Sawada, 2022). Estos desarrollos se alinean con el creciente énfasis en la modelización matemática dentro de los estándares curriculares internacionales de estas últimas décadas, respondiendo así a la demanda de integrar la modelización matemática en diversas disciplinas (Blum y Niss, 1991; Blum et al., 2007; Cai et al., 2014; Houston, 2009).

Nuestra investigación se propone identificar si propuestas como los REI, que promueven el cuestionamiento, también favorecen el trabajo interdisciplinar. De la misma manera, investigaremos si las dinámicas que separan y asignan tareas o cuestiones a las diferentes disciplinas potencian más el cuestionamiento y, por lo tanto, también la interdisciplinariedad. Formulamos, en consecuencia, dos cuestiones de investigación:

- C1: ¿Cómo intervienen las disciplinas en la dinámica de la indagación en un REI y cómo se genera la interdisciplinariedad?
- C2: ¿Qué condiciones facilitan y qué restricciones limitan el trabajo interdisciplinar en un REI?

MARCO TEÓRICO

El marco teórico en el que nos situamos es la teoría antropológica de lo didáctico (TAD, Chevallard, 2013; Chevallard y Bosch, 2020), que distingue dos paradigmas pedagógicos, uno dominante y otro en construcción. La estructuración del currículum escolar en distintas disciplinas (llámense áreas, materias o asignaturas) forma parte del paradigma en el que se sitúan los sistemas educativos actuales y que Chevallard (2013) caracteriza como la *visita de las obras*. En este paradigma los objetivos de la enseñanza se definen como un conjunto de contenidos o saberes que los alumnos deben conocer –o, por lo menos, haber encontrado o «visitado»– y que los docentes tienen la responsabilidad de enseñar. Este

autor propone considerar el contraparádigma emergente del *cuestionamiento del mundo* para situarse fuera del parádigma dominante y considerar nuevas opciones para la enseñanza.

La TAD toma como principal objeto de estudio las condiciones y restricciones que facilitan o limitan la difusión de conocimientos en la sociedad y, en particular, en las instituciones escolares. Se basa en una concepción del conocimiento (o de los saberes) como resultado de una construcción institucional vinculada a los procesos de indagación y estudio de cuestiones problemáticas. En este sentido, la TAD aborda la problemática didáctica desde una perspectiva antropológica, sin distinguir inicialmente las matemáticas de las demás disciplinas. Los procesos de indagación se estructuran en forma de *recorridos de estudio e investigación* (REI) cuyo objetivo es dar respuesta a una *cuestión generatriz* que se plantea un grupo o una comunidad de estudio (por ejemplo, un grupo clase), y para la cual no se dispone generalmente de una respuesta previamente elaborada. El papel del docente es ayudar y guiar al grupo clase en la elaboración de dicha respuesta, que requiere de un proceso de indagación relativamente largo. La indagación provoca que el alumnado plantee cuestiones derivadas de la inicial, busquen información relevante, estudien nuevos contenidos y se apropien de las herramientas y saberes necesarios para elaborar una respuesta final a la cuestión abordada (Bosch et al., 2020).

La cuestión generatriz de un REI puede surgir en el marco de una única disciplina o materia. Pero, en general, si se consideran cuestiones socialmente relevantes y «vivas» para el alumnado, estas suelen formularse en un contexto multidisciplinar o adisciplinar y, además, suelen requerir el recurso a varios ámbitos del saber (Jessen, 2014).

No se trata de asumir la interdisciplinariedad como un objetivo de enseñanza. Esto nos situaría en una posición cercana al parádigma de la visita de las obras con la aparición de una nueva obra llamada «interdisciplinariedad», tal y como también ponen de manifiesto Toma y García-Carmona (2021) con su análisis crítico de la tendencia STEM.

La mayoría de las investigaciones didácticas sobre interdisciplinariedad suelen abordarla, aunque sea de forma implícita, desde una posición de cuestionamiento, ya sea a partir de un reto (Ortega-Torres y Moncholí, 2021) o de un proyecto (Domènech-Casal et al., 2019). La reciente revisión de Tonnetti y Lentillon-Kaestner (2023) lo confirma, identificando una diversidad de obstáculos que dificultan la implementación de propuestas interdisciplinares. Este estudio revela que los estudiantes pueden experimentar brechas disciplinarias, aprendizaje confuso, dificultades para manejar la globalidad de la información recibida o conflictos debido a la cooperación requerida. Para los profesores, la identidad profesional disciplinaria también puede ser un obstáculo para cambiar su rol de docentes a «guías de la indagación». Otros obstáculos incluyen la falta de capacitación interdisciplinaria y de documentos de referencia, la dificultad para evaluar habilidades y conocimientos generales y la falta de apoyo institucional.

La distinción entre multidisciplinariedad, interdisciplinariedad y transdisciplinariedad ha sido discutida por distintos autores. Klein (1990) distingue la simple yuxtaposición de disciplinas sin integración alguna (*multidisciplinariedad*) de cuando se produce «una síntesis de dos o más disciplinas que establece un nuevo nivel de discurso y de integración de conocimiento» (*interdisciplinariedad*), y del enfoque «holístico que subordina las disciplinas, mirando las dinámicas del sistema completo» (*transdisciplinariedad*) (Choi y Pak, 2006, p. 355, traducción propia). Palmer (1999) también caracteriza la investigación interdisciplinar como un equilibrio entre un conocimiento especializado básico y la creación de nuevo conocimiento.

En nuestra investigación, adoptamos la distinción entre distintos niveles de interacción o diálogo entre disciplinas, cuando estas se utilizan para abordar cuestiones problemáticas. Entendemos la *multidisciplinariedad* cuando distintas disciplinas abordan una cuestión de forma independiente, generando muchas veces cuestiones derivadas independientes, cada una vinculada a un marco disciplinar. La *interdisciplinariedad* surge cuando una misma cuestión permite una aproximación desde distintas

disciplinas y con ello la generación de conocimiento conjunto, de repuestas que no se hubieran podido obtener dentro del marco disciplinar. Por último, la *transdisciplinariedad* aparece cuando las cuestiones abordadas necesitan obligatoriamente del trabajo conjunto entre disciplinas, cuestionando así las fronteras que a menudo, y más acusadamente en el ámbito escolar, se establecen entre ellas. Es importante señalar aquí que la delimitación de las disciplinas tiene un componente histórico institucional y debe interpretarse en una dinámica continua de evolución y transformación constante, junto a la creación de nuevas áreas, especialidades y, finalmente, disciplinas o ciencias nuevas.

METODOLOGÍA

Nuestra investigación sigue la metodología de investigación llamada «ingeniería didáctica», como la describe Artigue (1988 y 2014) y se adaptó posteriormente en Barquero y Bosch (2015) y García et al. (2019). Estos autores la estructuran en cuatro fases de análisis: preliminar, *a priori*, *in vivo* y *a posteriori*.

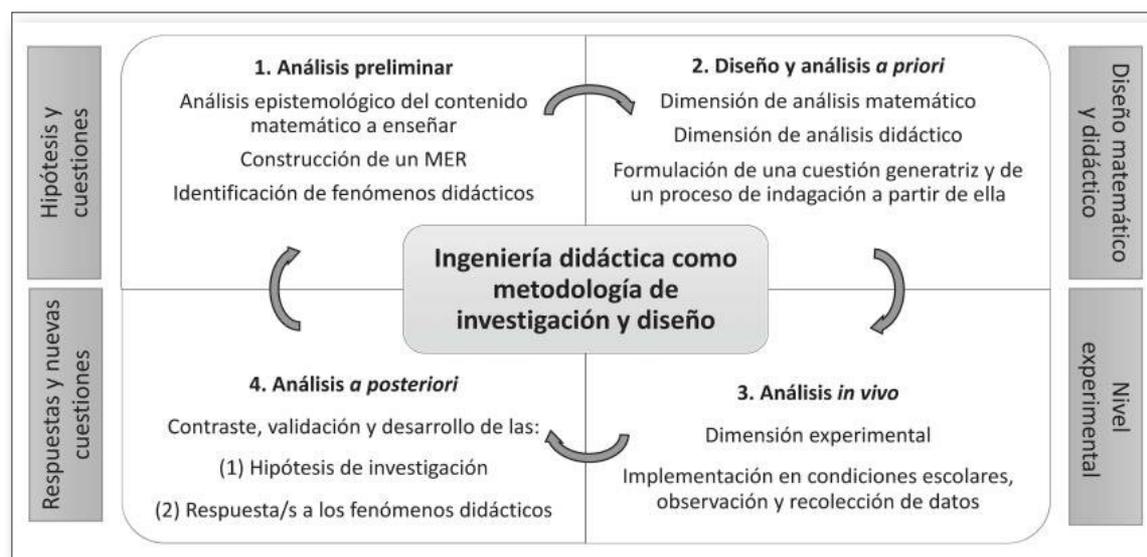


Fig. 1. Ciclos de la ingeniería didáctica (García et al., 2019).

El diseño de los REI presentados sigue un doble ciclo del proceso de ingeniería didáctica. Tras los resultados del primer ciclo (REI1), se realizaron ajustes en el diseño del segundo (REI2) para abordar las restricciones identificadas. También se puede considerar, dentro de la lógica del proceso de ingeniería didáctica, que el REI1 es un estudio piloto que se integra en la fase del análisis preliminar del REI2. Para evitar repeticiones, se describe primero el diseño e implementación del REI1 siguiendo las cuatro fases del proceso de ingeniería, y posteriormente se indican los cambios realizados para el diseño del REI2, diferenciando los contextos escolar, pedagógico y didáctico.

El *análisis preliminar* considera los fenómenos didácticos que se sitúan en el origen de la investigación. En nuestro caso, refiere a las cuestiones de investigación que hemos presentado anteriormente, relativas a las limitaciones de la enseñanza por materias arraigadas en el paradigma de la visita de las obras y la potencialidad de los REI para superar dichas limitaciones y generar interdisciplinariedad. De forma más genérica, el análisis preliminar aborda la relación entre el paradigma del cuestionamiento del mundo y la interdisciplinariedad.

El análisis *a priori* del REI1 incluye su diseño a partir de un análisis del potencial generador de la cuestión que lo origina (cuestión generatriz), asegurando su «estudiabilidad» y pertinencia. Esto requiere la identificación de posibles cuestiones derivadas que los alumnos probablemente plantearán y estudiarán, así como la organización didáctica y la generación de medios para su gestión. Durante la implementación, se realiza un análisis *in vivo* a cargo del equipo de docentes e investigadores, basado en los diarios y producciones de los alumnos, así como en el diario compartido por los docentes. Este análisis permite reflexionar sobre el proceso vivido y determinar los pasos por seguir a partir de los resultados que se van obteniendo. Una herramienta clave es el *mapa de cuestiones y respuestas* (mapa CR, en adelante), que recoge las cuestiones que van apareciendo, tanto las que se abordan como las que se decide descartar, marcando así el avance de la indagación (Winsløw et al., 2013). Dicho mapa permite la clasificación de las cuestiones en categorías disciplinares y generales, aunque esta clasificación es más propia de la etapa final de la ingeniería, el análisis *a posteriori*. En esta etapa, realizada al finalizar el REI, se identifican aspectos interdisciplinarios, analizando trayectorias de estudio e investigación de los estudiantes y categorizando las preguntas que aparecen en los mapas CR, los modelos utilizados y las respuestas generadas.

Las categorías para clasificar las cuestiones emergen del análisis inicial de las producciones estudiantiles, realizado por la primera autora y validado posteriormente por el resto de las autoras mediante un proceso de triangulación. Inicialmente, se utilizaron dos categorías de cuestiones: genéricas y disciplinares. Las genéricas corresponden a preguntas relacionadas con los objetivos generales del estudio, la organización y los cambios en el contrato didáctico. Dentro de las disciplinares, se distinguieron subcategorías. Para el caso de las matemáticas, se distingue entre cuestiones relativas a la recopilación de datos, las técnicas de análisis de los datos y la creación, uso y validación de modelos. El resto de las disciplinas solamente se consiguió organizarlas por temáticas y relacionarlas entre ellas. La clasificación reveló el carácter multidisciplinar o interdisciplinar de los procesos seguidos, identificando disciplinas asociadas a las cuestiones y sus posibles interacciones.

El análisis *a posteriori* también incluyó encuestas de valoración, donde se solicitó a los estudiantes que identificaran tres aspectos aprendidos y tres habilidades adquiridas. La pregunta buscaba destacar *conocimientos significativos* desde la perspectiva del estudiante y evaluar posibles variaciones según la asignatura optativa. Se esperaba que, por ejemplo, los estudiantes de biología resaltaran más aquellos aspectos relacionados con la biología del virus, los de tecnología sobre las simulaciones y los de expresión plurilingüe sobre la redacción de artículos. De ser así, el objetivo de conseguir la interdisciplinariedad no estaría cumplido, al no reconocerse un espacio de cuestiones compartidas. Con estos datos realizamos un análisis temático generando categorías organizadas por disciplinas y la disciplina optativa del estudiante.

Los resultados de este análisis guiaron el segundo ciclo de ingeniería didáctica. En el análisis *a priori* del REI2, se ajustó el diseño para abordar las restricciones observadas en el ciclo anterior. Se repitió la dinámica en los análisis *in vivo* y *a posteriori*, utilizando herramientas similares al ciclo previo y cuyo uso concluyó en un análisis comparativo para detectar posibles diferencias significativas entre las dos experimentaciones.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PRIMER REI MULTIDISCIPLINAR SOBRE LA COVID-19 Y CONSECUENCIAS DE SU REDISEÑO

A continuación, describimos el diseño del REI1, algunos de los resultados del análisis *a posteriori* de este primer ciclo y las modificaciones consecuentes que se realizaron para el REI2. El lector verá que en el apartado de resultados daremos respuesta a si dichos cambios resultaron efectivos para el objetivo marcado, teniendo siempre en consideración que el fenómeno didáctico que se quiere estudiar es el de

la superación del encierro disciplinar, para facilitar la resolución de la cuestión problemática con una mirada interdisciplinar.

Contexto escolar

Ambas experiencias se realizaron en el 4.º curso de la Educación Secundaria Obligatoria en España, con 59 alumnos del mismo centro, repartidos en dos grupos, en dos años consecutivos (2021/22 y 2022/23). La organización del centro establece que la asignatura Matemáticas es obligatoria y cada estudiante elige entre Biología, Expresión Plurilingüe o Tecnología como asignatura optativa. Los profesores de Matemáticas y el de Biología se mantuvieron constantes en ambas implementaciones, mientras que los de Tecnología y Expresión cambiaron. En ambas, los estudiantes tenían un ordenador personal y acceso a internet con diversas herramientas: hojas de cálculo y presentaciones, procesadores de textos, etc.

Infraestructura pedagógica

Debido a restricciones en el calendario escolar, el REI1 fue más corto de lo deseado (8 días, con 14 sesiones). Se realizó durante el tercer trimestre, momento del curso marcado por limitaciones del calendario. En el cuestionario final del REI1 (figura 8), los estudiantes indicaron las dificultades generadas por el nivel de trabajo requerido. Por esta razón, en el REI2 se estableció un calendario más flexible y adaptativo, extendiendo su duración a 14 días con 24 sesiones.

En cuanto a la organización de los equipos de trabajo, en el REI1 se mezclaban estudiantes de todas las optativas (grupos multidisciplinares). Todos los equipos se organizaron repartiendo tareas por disciplinas. Si bien esto facilitó el trabajo colaborativo, se evidenció una limitación en la efectiva interdisciplinariedad, ya que la especialización disciplinar prevalecía en los equipos sobre la integración y complementariedad. En consecuencia, en el REI2 se decidió formar equipos con estudiantes de la misma optativa (monodisciplinares).

En ambas experiencias los estudiantes utilizaron un documento digital, común a la clase, para compartir los avances y aportaciones, y un diario grupal para llevar un registro de la evolución de su trabajo, donde describían las preguntas estudiadas, las respuestas parciales que habían sido encontradas, el reparto de las tareas del grupo e individuales y, por último, proponer nuevas cuestiones de indagación. Este diario se entregaba al finalizar cada sesión por Google Classroom, lo que permitía a los profesores supervisar el progreso de los grupos.

Infraestructura didáctica

Cuestión generatriz del REI1 y condiciones para su estudio

La cuestión generatriz del REI1 fue: «¿Cuánta de toda la información que se ha dicho sobre la COVID-19 ha acabado siendo cierta?». El objetivo inicial era analizar las noticias que aparecieron en tiempo de pandemia y contrastar su veracidad. Cada equipo tenía su propia línea de investigación, que debía incluir cuestiones de todas las disciplinas y, al finalizar, las debían presentar en forma de un artículo científico, un póster, una presentación oral y un vídeo orientado a redes sociales.

Limitaciones identificadas en el REI1

A raíz del análisis de las producciones de los estudiantes del REI1, se consiguieron identificar tres limitaciones, muy relacionadas con los cambios en el contrato didáctico. Por un lado, el análisis de los mapas CR muestra que la generación, el desarrollo y la conexión de las cuestiones derivadas fueron una tarea que no quedó bien documentada o fue poco elaborada por los equipos. Las cuestiones incluidas en los informes están desarticuladas, se distingue una clara separación entre disciplinas (figuras 2 y 3) y tienen poco potencial para derivar en nuevas cuestiones que completen la investigación. Además, se observó que los equipos se repartían las cuestiones que estudiar según la optativa que cursaban y no compartían sus avances con los demás equipos. Estas evidencias muestran que el trabajo interdisciplinar en el REI1 fue pobre, más cercano a una aproximación multidisciplinar: se involucraron las tres disciplinas, pero no se relacionaron entre ellas. Por lo general, los estudiantes se limitaron a responder a las cuestiones que habían generado en la primera sesión, pero no surgieron cuestiones nuevas ni se discutieron o validaron las respuestas. La ausencia de esta dialéctica cuestión-respuesta fue más marcada en las optativas que en matemáticas. Como consecuencia, se decidió que en el REI2 los grupos serían monodisciplinarios y se añadirían algunos dispositivos pedagógicos para promover la interdisciplinariedad, facilitando la compartición de los avances entre los distintos grupos: la exposición de grupos especialistas y la producción de un artículo científico completo con las aportaciones de todos los grupos.

Como segunda observación, en el análisis *a posteriori* se descubrió que detrás de alguna investigación hubo alguna pregunta que el grupo no identificó como tal y que hubiera permitido abrir nuevos caminos en la indagación. Como ejemplo de este análisis mostramos la figura 4, un mapa CR realizado por las investigadoras y que reproduce el recorrido de un grupo durante REI1, que eligió como cuestión que estudiar: «¿Qué variante ha sido más peligrosa?». Este mapa incluye las preguntas explícitas (formuladas por los alumnos) e implícitas (deducidas por las investigadoras) que este equipo generó para el desarrollo de su trabajo. El mapa muestra que se derivan cuestiones dentro de cada disciplina, aunque no se crean relaciones entre estas cuestiones, lo que marcaría la interdisciplinariedad. Se distinguen algunas preguntas con potencial para ser relacionadas y estudiadas interdisciplinariamente, por ejemplo, Q.4.1 con Q.5.1 o Q.1.1.3 con Q.2.2.1, que el equipo no conectó.

Como consecuencia de este resultado, en el REI2 se decidió utilizar como cuestión generatriz única la del grupo que hemos descrito en este apartado, ya que vimos que el mapa CR que derivaba de esta proporcionaba suficiente potencial para generar relaciones interdisciplinarias: «¿Qué variante de la COVID-19 ha sido la peor?».

La tercera observación se relaciona con la responsabilidad de la gestión del mapa CR. En el REI1 esta recaía únicamente en los estudiantes, lo que generaba una actividad confusa y con resultados sin una estructura arborescente ni que mostrase una evolución clara en relación con las cuestiones estudiadas. Se consideró que la obligación de representar el mapa podía distorsionar el cuestionamiento, centrándose en él como producto en lugar de ser una herramienta, ya que el objetivo estribaba en la generación de preguntas y en su organización, en vez de en cuestionarse el problema y buscar respuestas. En consecuencia, en el REI2 se propuso traspasar la responsabilidad de generar y gestionar el mapa CR al profesorado, a partir de la información y las propuestas incluidas en los diarios de cada grupo y las puestas en común en el aula.

Matemáticas

- **¿En qué aspectos se aprecia la diferencia de localización respecto al contagio de la COVID-19?** Mientras más habitantes haya y mayor sea el lugar, posiblemente hayan mucho más contagio que en zonas pequeñas.
- **¿De todos los datos encontrados en cuáles nos fijaremos?** Nos fijaremos en los datos de todas las comarcas de Cataluña.
- **¿Cómo influyen los casos de contagios que no han sido registrados o las muertes que han ocurrido por otra razón?** No influenciarán en nuestro estudio, puesto que en todas las comarcas faltan estos datos.
- **¿Cómo haremos el análisis? ¿Lo haremos por cada día, cada mes...?** Haremos el análisis cada mes.
- **¿Hay que tener en cuenta a los habitantes para hacer el estudio?** Sí, porque así podemos ver la relación existente entre los contagios y las personas.
- **¿Tengo que observar cuándo hubo un pico en cada comarca para no compararlo con lugares donde fue una época ligera?** Sí, ya que necesitamos saber en qué temporada los contagios fueron altos, para así compararlo con las demás comarcas.

Biología

¿Cuál es la diferencia de contagio del COVID-19 en las diferentes comarcas de Cataluña?

- **¿El sexo tiene relación con los contagios de la COVID-19?** El sexo importa, pero todavía no se ha comprobado; debe verse con la inmunología basada en el sexo.
- **¿La edad tiene relación directa con los contagios de la COVID-19?** Sí, la edad importa, ya que según vamos envejeciendo nuestro Sistema inmunológico empieza a disminuir y no puede defenderse de manera correcta.
- **¿De qué forma nos contagiamos de este virus?** Nos contagiamos a través del aire, cuando exhalamos gotas y partículas respiratorias que expulsan otras personas; estas gotas nos pueden llegar a los ojos, boca y nariz.
- **¿Cuáles son los síntomas de la enfermedad?** Uno de los síntomas más habituales cuando se tiene COVID-19 son la fiebre, la tos, el agotamiento, la pérdida de gusto y olfato. Y de los menos habituales, ojos irritados, dolor de cabeza, dolor de garganta, molestias...
- **¿Cómo saber al 100 % si una persona está contagiada?** Haciéndose una PCR o prueba de antígenos. La PCR es más confiable.

Fig. 2. Ejemplo de producción de un mapa CR producido por un equipo en el REI1, con cuestión Q0: ¿Cuál es la diferencia en el contagio del COVID en las diferentes comarcas de Cataluña? (parte izquierda del mapa). https://www.canva.com/design/DAGICanx2Wc/1CI8Q83QxRw6ji28H_M4cg/edit?utm_content=DAGICanx2Wc&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

Social

- **¿Las diversas formas de vivir en las diferentes zonas afectan al modo en el que la COVID-19 se expandió?** Las personas son atraídas por ciudades que son grandes y muy conocidas, por tanto, cuando dejaron que extranjeros entraran en el país aquella se expandió más.
- **¿La gente se mueve a diferentes lugares desde el comienzo de la pandemia?** Las personas se mueven de la ciudad al pueblo, esperando alejarse de un ambiente en el que haya mucha gente y muchos contagios.
- **¿Cómo afecta el confinamiento a las personas psicológicamente?** Problemas de ansiedad, aumento de adicciones y hábitos tóxicos, frustración...
- **¿La forma de relacionarse ha cambiado desde la pandemia? ¿Cómo?** Si, con la pandemia solemos mostrar desconfianza hacia los desconocidos y no nos gustan las aglomeraciones de gente.
- **¿Cómo afecta la COVID-19 a las ciudades?** A principios del confinamiento afectó tanto a la ciudad como al comercio; algunas tiendas tuvieron que cerrar temporalmente y otras tuvieron que cerrar porque no podían pagar el local.

Otros

**en el contagio de la
rentes comarcas de
uña?**

- **¿Cómo se visualiza un contagio con diferentes premisas pero al mismo tiempo mediante el programa Netlog?** Existe un gráfico que se va modificando a medida que pasan los días en la simulación. Con los datos finales descargados y mediante el Excel se puede realizar un gráfico propio, y diferenciar entre aquellos.
- **¿La COVID-19 es una oportunidad para un aprendizaje “profundo” de cara a la vida?** Esto depende de cada persona; algunas personas se han tomado este confinamiento como un period para pensar en sí mismos, pero otras se lo han tomado como un period para estudiar cosas nuevas.
- **¿Cuál es la diferencia en las simulaciones según el número de población?** Que donde haya más población, más gente se contagiará rápidamente, por tanto, se curarán antes donde haya menos población, y aunque no se contagia toda la población, se sigue contagiando la mayoría, de manera mucho más lenta porque cuando las comarcas con más gente se hayan curado las comarcas las que tengan menos seguirán confirmando casos de COVID-19 durante mucho más tiempo.

Fig. 3. Ejemplo de producción de un mapa CR producido por un equipo en el REI1, con cuestión Q_0 : ¿Cuál es la diferencia en el contagio del COVID en las diferentes comarcas de Cataluña? (parte derecha del mapa). https://www.canva.com/design/DAGICanx2Wc/1CI8Q83QxRw6ji28H_M4cg/edit?utm_content=DAGICanx2Wc&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

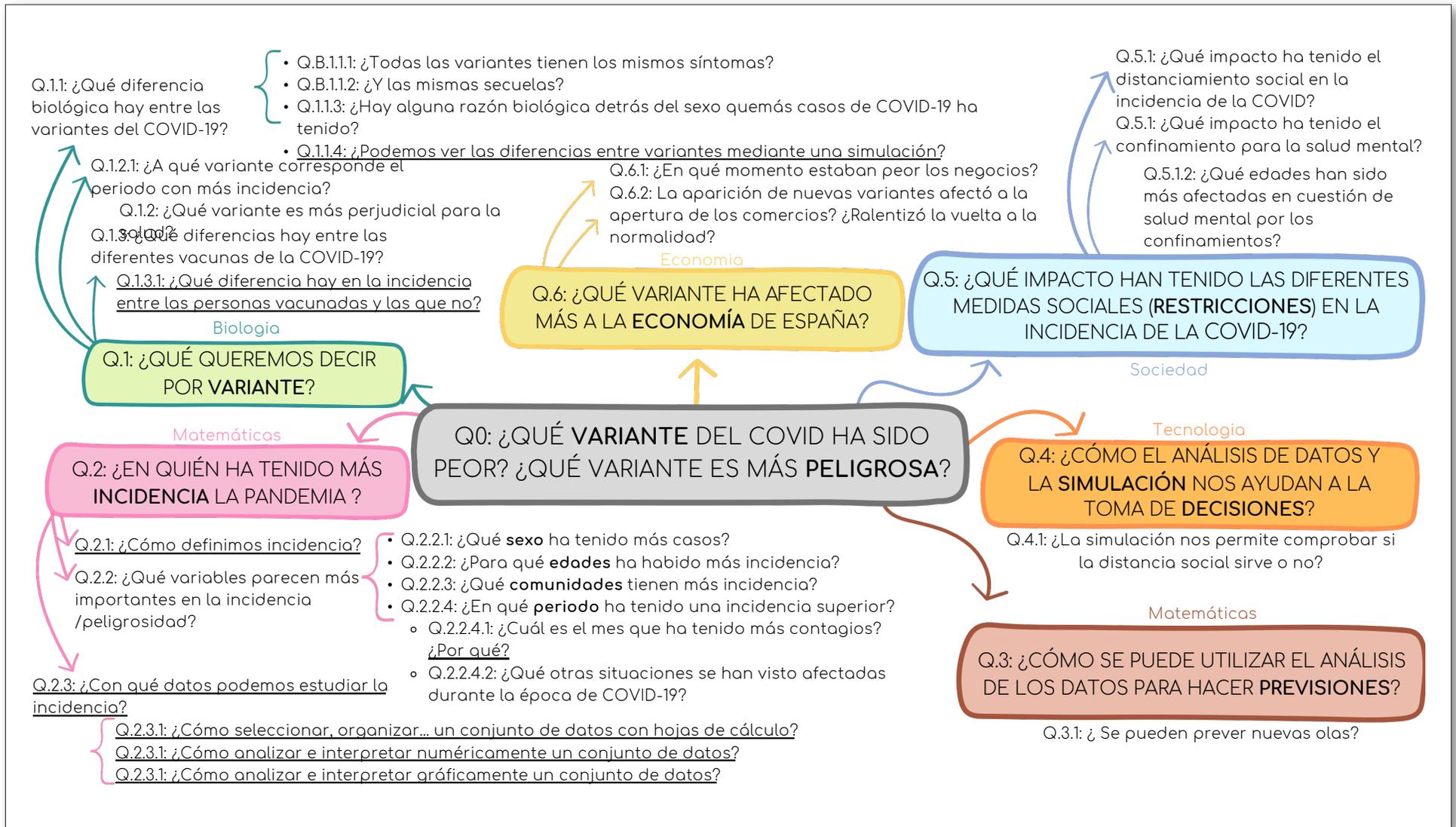


Fig. 4. Mapa CR en el REI1 (subrayadas las cuestiones añadidas por los investigadores). https://www.canva.com/design/DAGFxX5dpCo/7IFiyJSKvtdlyvslflcIWQ/edit?utm_content=DAGFxX5dpCo&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

Cambios en la infraestructura didáctica al pasar del REI1 al REI2

Teniendo en cuenta las limitaciones previamente comentadas, las primeras sesiones del REI2, así como la preparación previa del grupo de docentes, estuvieron especialmente enfocadas a priorizar la *dialéctica cuestión-respuesta* y el *trabajo interdisciplinar*. Recordemos los tres cambios introducidos:

- Equipos monodisciplinares de las tres disciplinas: biología, expresión y tecnología.
- La cuestión generatriz es única para todos los grupos: «¿Qué variante de la COVID-19 ha sido la peor?».
- El mapa CR es generado por los profesores.

En la primera sesión del REI2 los estudiantes accedieron a la base de datos abiertos de Cataluña² para investigar registros sobre la COVID-19. Extrajeron cuestiones y las organizaron en un documento de trabajo. Los profesores las seleccionaron y organizaron por temáticas en un Padlet colaborativo (figura 5).

Tras este volcado, se realizaron sesiones de puesta en común: una durante la hora de optativa con grupos separados y con el respectivo profesor y otra durante la hora de Matemáticas, cuando los equipos se dividieron por optativa, con un profesor de esta asignatura para cada grupo. En ambas sesiones, se pidió a los estudiantes que seleccionaran y organizaran las preguntas más importantes del Padlet.

En el REI2 se buscó fomentar la interacción entre los equipos para generar interdisciplinariedad, utilizando el mapa CR (responsabilidad de los profesores) como un espacio para compartir avances. Se consiguió construir el mapa que se muestra en la figura 6.

Cada equipo abordó preguntas relacionadas con su optativa y completaron el mapa con aportes propios. Para ello, fueron necesarios momentos de puesta en común para explicar y debatir avances. Cada optativa tenía un objetivo específico: el grupo de Biología se enfocó en el virus y su comportamiento, el grupo de Expresión investigó *fake news* y el grupo de Tecnología utilizó el programa NetLogo para simular las variantes del virus. En las sesiones de las asignaturas optativas cada profesor especialista asesoraba a los grupos de su disciplina. En las de Matemáticas se llevó a cabo el análisis de la base de datos. Se introdujo además una *exposición de especialistas* como nuevo dispositivo para compartir resultados. Los equipos escuchaban las exposiciones, extrayendo información para incorporarla a su trabajo. Dado que la fase de investigación del REI2 se extendió, no quedó tiempo para la producción del vídeo, conservándose el artículo, el póster y la presentación oral como producto final.

RESULTADOS DEL REI2

Análisis del mapa CR

A diferencia del REI1, en el mapa CR de la figura 6 no aparece una clara separación entre disciplinas. Solo identificamos la biología como rama, pero las demás disciplinas están interconectadas y se relacionan con preguntas específicas. Por ejemplo, la pregunta «¿Se podría simular la efectividad de las vacunas con un simulador?» podría relacionarse con la tecnología, pero la que nace a partir de esta, «¿Qué porcentaje de personas son infectadas en la simulación con vacunas y sin ellas?», también se puede asociar con las matemáticas. En la rama de la biología, a partir de la pregunta «¿Cuántas variantes existen?», nacen otras muchas, una de las cuales –«¿Cuántos casos ha habido de cada variante?»– se puede asociar con las matemáticas. O, si consideramos las ciencias sociales como disciplina involucrada en la

2. <https://analisi.transparenciacatalunya.cat/>

pregunta «¿Las mujeres son más propensas a ser afectadas por la COVID-19?», también son útiles las matemáticas para poder analizarla. Así, el cuestionamiento generado en el REI2 se muestra, al menos en este dispositivo, menos separado por disciplinas, con cuestiones que se pueden abordar desde varios puntos de vista y, por lo tanto, generando más interdisciplinariedad.

Dato	Vacunas	Sociedad
¿A qué tipo de personas afecta más la COVID-19?	¿Cantidad de personas vacunadas por cada variante?	¿A qué franja de edad afecta más la COVID-19?
¿Podemos averiguar mediante los datos qué variante puede llegar a ser más peligrosa?	¿Qué porcentaje de gente falta por vacunarse en el mundo?	¿Es más propenso que las mujeres contraigan la COVID-19 o los hombres?
¿Qué franja de edad ha tenido mayor número de fallecidos por COVID-19?	¿Cómo funcionan y qué virus modificado utilizan las vacunas de vectores virales de Jansen?	¿Cómo ha afectado la crisis de la COVID-19 económicamente?
¿A través de estos datos podemos generar una media general de casos de COVID-19 por día que había en la época de más casos?	¿Qué componentes llevan las vacunas?	¿Qué porcentaje de adolescentes ha sido afectado psicológicamente por la cuarentena?
	¿Las vacunas te pueden provocar COVID?	¿Dependiendo de la variante que sea, es más propenso que la cojan mujeres que hombres?
	¿Cómo funcionan las vacunas con ARN como las de Pfizer o Moderna?	
Variantes	¿Qué medidas de seguridad se han tomado a la hora de crear las vacunas?	Simulaciones
¿Podemos averiguar a través de los datos qué variante puede llegar a ser más peligrosa?	¿Cómo se autoriza el uso de una vacuna?	¿Significa que contra más transmisible se el virus más letal será?
¿Cuál es la variante con más muertes?	¿Por qué después de ser vacunado la gente continua contrayendo la COVID-19?	¿En qué afecta a la distancia social en la simulación?
¿Cuál ha sido la variante que ha afectado a más personas?		¿Cómo simular las diferentes variantes de COVID-19 utilizando NetLogo?
¿Por qué se forman las distintas mutaciones de un virus, en este caso de la COVID-19?		¿Cómo pueden afectar a las variantes de la COVID-19 en la simulación?

Fig. 5. Selección de las preguntas que se compartieron en el REI2. https://www.canva.com/design/DAGIsCqwQl8/pmCZi-DuXKIdHuxBYet5kFQ/edit?utm_content=DAGIsCqwQl8&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

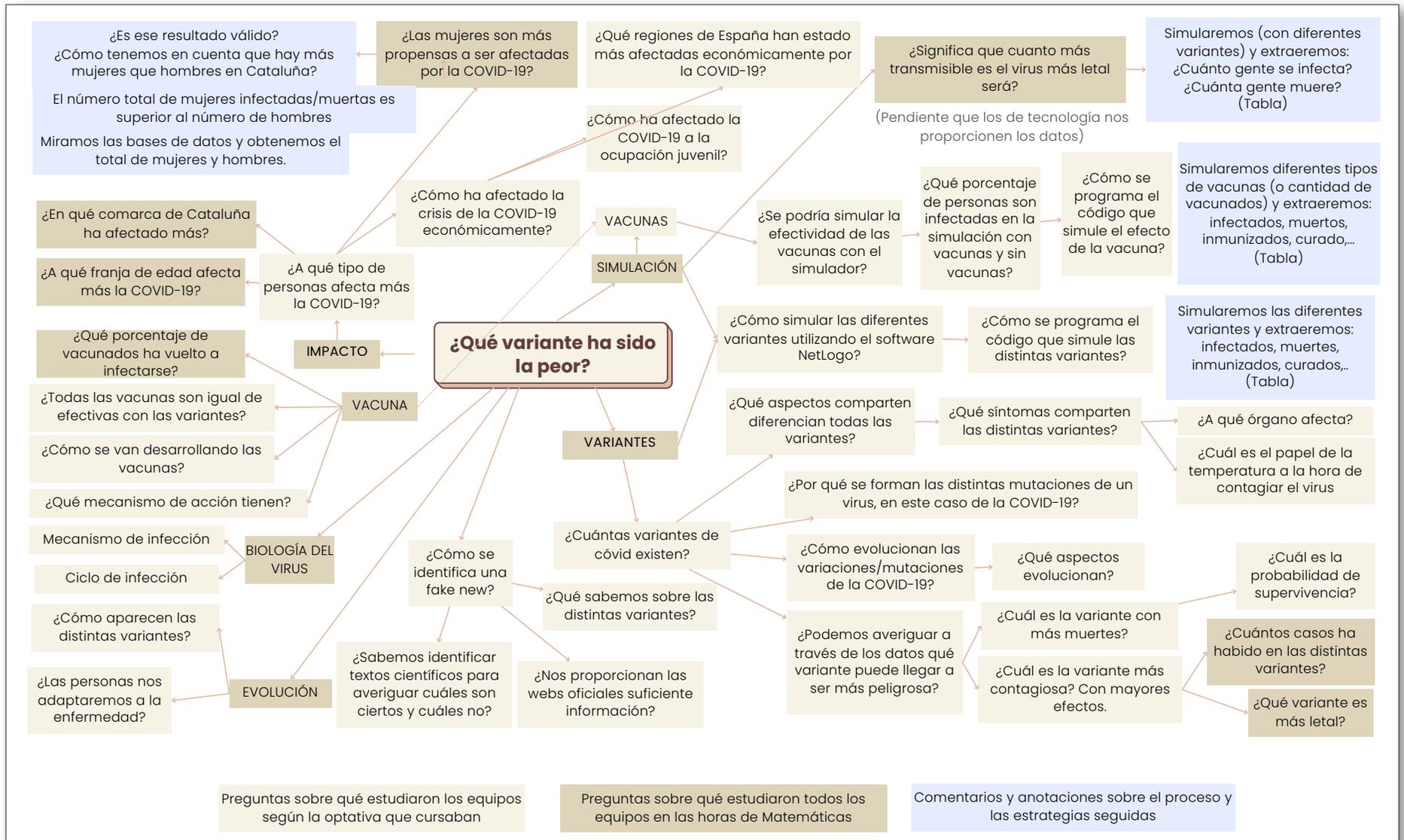


Fig. 6. Mapa CR generado en el REI2. https://www.canva.com/design/DAGIsMrT4no/yJc0iHGuDpkc2L8AeBDLew/edit?utm_content=DAGIsMrT4no&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

Enfoque del trabajo matemático

En las primeras sesiones de matemáticas todos los estudiantes abordaron la misma pregunta: «¿Las mujeres son más propensas a ser afectadas por la COVID-19?». Esta dinámica inicial facilitó las puestas en común y, a diferencia del REI1, los equipos participaron más activamente, ofreciendo comentarios enriquecedores. Respecto a esta pregunta, uno de los equipos escribió, por ejemplo: «No sólo debemos mirar los casos totales de COVID [...] Necesitamos saber el valor relativo para saber el porcentaje y realmente saber cuál es el sexo más afectado».

Este mismo equipo afirma, en su artículo final:

Analizando el gráfico [...] podemos afirmar que las mujeres han tenido un mayor número de contagios [...] Por tanto, podemos interpretar que las mujeres han estado más afectadas [...] ya que los datos afirman que ha habido más casos mortales de mujeres. [...] debemos tener en cuenta el número total de mujeres y hombres en Cataluña. Entonces calculando el valor relativo, hemos obtenido que las mujeres han muerto un 1,02 % respecto a la población de Catalunya, y los hombres un 1,05%. Por lo que los hombres tienen mayor mortalidad [...] y es realmente la población más afectada.

Discusiones similares se dieron en preguntas de comparación de datos entre zonas geográficas o grupos de edad. Vemos así que el REI permitió abordar estas aparentes contradicciones entre variables relativas y absolutas, así como aspectos de modelización matemática, incluyendo la recopilación y organización de datos, representación gráfica y análisis. Por ejemplo, algún grupo también usó tablas de contingencia para poder organizar y analizar los datos (figura 7).

Tabla en relación a los valores: Infectados/no infectados y vacunados/no vacunados

vacunados

Valor relativo de infecciones

Infectados vacunados: 22,52%
Infectados no vacunados: 60,1%

Estos valores muestran que realmente de la gente vacunada sólo el 22,52% se infecta en comparación con el 60% de la gente que se infecta por qué no está vacunada. Pueden concluir que está vacunado disminuye las probabilidades de infección.

	Vacunados	No vacunados	Total
infectados	1365427	905786	2271213
no infectados	4695697	599090	5294787
Total	6061124	1504876	7566000

Fig. 7. Ejemplo de producción de un equipo en el REI2.

Limitaciones en la optativa de tecnología

En cuanto al grupo de tecnología, su objetivo principal era simular diferentes parámetros de virus, especialmente la transmisibilidad y su impacto en la mortalidad. La pregunta asociada era «¿Cuanto más transmisible es el virus más letal es?». Este grupo enfrentó dificultades en la organización del tiempo y la limitada asesoría de la profesora. La organización inicial del proyecto planeaba que, una vez recopilados, los datos de la simulación se compartieran con el resto del grupo para un análisis conjunto. No

se le pudo dedicar tiempo a este análisis, perdiendo una oportunidad clara de trabajo interdisciplinar entre tecnología y matemáticas.

Producciones finales

Los equipos presentaron los avances de su trabajo al grupo centrándose en los aspectos específicos de sus optativas. A la vez, debían recoger información relevante de las presentaciones de otros equipos e incluirla en su trabajo referenciando el equipo productor. Los equipos de la asignatura de Biología abordaron la naturaleza del virus y de la enfermedad, las variantes y las vacunas; y los de Expresión Plurilingüe compartieron consejos sobre cómo identificar *fake news* o cómo escribir correctamente un artículo científico, mientras que el grupo de tecnología presentó los resultados de las simulaciones. En las siguientes sesiones, los equipos integraron toda la investigación en sus productos finales.

Identificamos una diferencia significativa entre los pósteres del REI1 y el REI2: la organización de la información segmentada en disciplinas en el primero y en disciplinas más integradas en el segundo. De los 10 equipos existentes, 4 adoptaron una organización similar, con el título principal de la sección como el nombre de la disciplina y la pregunta asociada en una fuente de menor tamaño.

En cambio, en el REI2, solo un equipo de los 14 en total optó por una distribución por disciplinas. El resto eligió una estructura donde los títulos principales se asignan a las secciones del artículo (introducción, marco teórico, marco experimental y conclusión).

Valoración de estudiantes y profesores

A partir de los datos de las encuestas a estudiantes, generamos la tabla 1, que muestra el análisis de frecuencia de palabras. Indica la proporción de alumnos de cada optativa que identifican como «asimilados» los diferentes contenidos. Las palabras más detectadas se categorizaron por disciplinas. Las casillas vacías corresponden a palabras introducidas por los profesores en el REI2 y no identificadas en el REI1. La última fila presenta la proporción de alumnos respecto al total del grupo.

Tabla 1.
Resultados del formulario de reflexión de los alumnos

Contenido	Matemáticas						Tecnología		Biología		Expresión			
	<i>Excel, análisis</i>		<i>Gráficos</i>		<i>Valor relativo, absoluto</i>		<i>Simulaciones NetLogo</i>		<i>COVID-19, Biología</i>		<i>Fake news</i>		<i>Artículos, pósteres, redacción</i>	
	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022
Biología	53 %	65 %	73 %	50 %	40 %		17 %	10 %	70 %	60 %	10 %		30 %	20 %
Tecnología	38 %	69 %	63 %	44 %	25 %		75 %	88 %	63 %	44 %	13 %		25 %	19 %
Expresión	20 %	38 %	25 %	46 %	45 %		15 %	31 %	60 %	62 %	70 %		30 %	23 %
Proporción de alumnos	40 %	50 %	55 %	40 %	40 %		24 %	34 %	66 %	47 %	31 %		29 %	17 %

En el análisis del grupo-clase (última fila), se identifican menos aspectos de hojas de cálculo y análisis de datos, pero más sobre gráficos, incluyendo la categoría de *valor relativo y absoluto* (impuesta en el diseño del REI2). Coincide con las percepciones de los profesores de Matemáticas, quienes señalan un menor énfasis en aspectos técnicos de hojas de datos en el REI2, pero una mayor atención a la com-

paración de datos mediante valores relativos. También se observa una disminución en las simulaciones, pero un aumento en aspectos relacionados con la biología del virus y la redacción de trabajos siguiendo los patrones de un artículo científico. En cuanto a la detección de mejoras en la interdisciplinariedad, persiste la relación entre la optativa del estudiante y el tipo de contenido que identifica en su aprendizaje, pero se observan los cambios siguientes. Los estudiantes de biología continúan identificando «la biología de la COVID-19» con el contenido más recurrente, pero aumenta el porcentaje que reconoce las simulaciones y los aspectos de redacción de artículos. Además, entre los estudiantes de Tecnología, se incrementa la proporción que reconoce haber aprendido conceptos de biología, y se mantiene alta en los de Expresión. También crece la proporción de alumnos de Biología y Tecnología que identifican haber aprendido sobre redacción de textos. Es decir, podemos identificar que el diseño del REI2 favorece la percepción de la interdisciplinariedad por parte de los estudiantes.

A pesar de esto, vemos que en general las simulaciones han tenido menos impacto en los estudiantes, ya que disminuyen un 10 % respecto al año anterior. La falta de acompañamiento de la profesora de Tecnología durante algunas sesiones puede explicar esta disminución. De hecho, los estudiantes de esta asignatura muestran la peor impresión del proyecto, valorando negativamente la claridad diaria del trabajo y el tiempo dedicado (figura 8), cuando el año anterior había sido superior a la media del grupo. En contraste, los grupos de Biología y Expresión aumentaron su valoración de la utilidad de las simulaciones, respaldando los resultados anteriores sobre la interdisciplinariedad.

En cuanto a las impresiones recogidas de los profesores, estos elogian el mapa CR, considerándolo esencial para analizar el caso y aplicable de manera transversal. En cuanto a la interdisciplinariedad, el profesor de Biología ve mejoras, y logra un proyecto que integra todas las materias. Sin embargo, el profesor de Expresión considera que, aunque estaba planteado como interdisciplinario, el proceso acabó siendo más multidisciplinar, especialmente para los estudiantes de esta asignatura, ya que no lograron entender cómo integrar las materias de Biología y Tecnología. Respecto a las condiciones favorables, destacan el aprendizaje práctico, con un gran impacto, la comodidad de los alumnos en equipos pequeños y la dinamicidad del proyecto. Respecto a los inconvenientes, mencionaron a algunos alumnos desmotivados, poco implicados y con pocas competencias de base, problema recurrente en proyectos similares. Además, señalaron la falta de tiempo para hacer un buen seguimiento.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como primer resultado, con relación a la primera cuestión de investigación, podemos afirmar que el cuestionamiento vivido en ambas implementaciones ha facilitado y potenciado la multidisciplinariedad y, en el REI2, cierta interdisciplinariedad. La consideración de los mapas CR muestra que la indagación ha incluido la interacción entre varias disciplinas, favoreciendo el estudio de la cuestión generatriz. Este resultado va en la línea de las investigaciones de Rasmussen (2016) y Jessen (2014), en cuanto a que la dinámica de la indagación generada por los REI facilita la interacción de varias disciplinas.

Como segundo resultado, hemos detectado que la separación entre disciplinas del REI2 ha facilitado la dinámica de la indagación, promoviendo más intercambio entre disciplinas y mayor retroalimentación de las cuestiones. Si bien el cuestionamiento promueve la multidisciplinariedad, la dinámica de la indagación parece fluir más fácilmente dentro del trabajo disciplinar, en línea con los principios propuestos por Lenoir y Hansi (2016). Estos autores consideran que no puede haber interdisciplinariedad sin las disciplinas escolares, que la interdisciplinariedad es siempre un medio para otro fin (en nuestro caso, llevar a cabo la indagación) y mencionan la complementariedad entre disciplinas. En particular, los grupos monodisciplinares del REI2 y la dedicación de cada profesor especialista parecen

haber facilitado el desarrollo del cuestionamiento y, en consecuencia, la generación de respuestas y nuevas cuestiones.

Se destacó un cambio clave en el cuestionamiento inicial: en el REI1 se forzó una lluvia inicial de preguntas donde los alumnos tenían que producir preguntas de todas las disciplinas. En cambio, en el REI2 los estudiantes generaron preguntas relacionadas, sin necesidad de asignarlas a ninguna disciplina y, posteriormente, toda la comunidad de estudio se organizó para estudiar las preguntas más afines a cada disciplina, evitando la imposición de la disciplinariedad.

Como tercer resultado, y vinculándose a la segunda cuestión de investigación, postulamos que son necesarias ciertas condiciones para facilitar la dinámica de la indagación y lograr así el paso de la multidisciplinariedad a la interdisciplinariedad. Aunque la propuesta de los REI se ajusta bien al enfoque multidisciplinario bajo las condiciones pedagógicas e institucionales actuales, postulamos que la transición al trabajo interdisciplinar es posible cuando se mejoran las dinámicas de la indagación. Dicha dinámica requiere de dispositivos didácticos especialmente relacionados con la generación de cuestiones a partir de las respuestas encontradas, tal como indican Bosch y Winsløw (2016). Un dispositivo clave fue la formación de grupos monodisciplinares y la distribución de tareas según disciplinas para un posterior trabajo conjunto: los estudiantes exponían sus resultados parciales y todos redactaban un texto con estructura de artículo científico abordando todas las cuestiones. Esto fomentó la comprensión y el análisis de los resultados obtenidos por el resto de los equipos y aquí es donde se producía cierta interdisciplinariedad. Otro dispositivo fue la importancia atribuida al estudio de una única cuestión generatriz y la gestión del profesorado del mapa CR, para visibilizar el avance colectivo del estudio, lo que permitió al equipo docente asumir una gestión más directa de la interdisciplinariedad.

Además, en relación con las restricciones, coincidimos con la revisión de Tonnetti y Lentillon-Kaestner (2023) en cuanto al profesorado: conflictos relacionales, falta de recursos y de formación y necesidad de una infraestructura escolar adaptada. Todo esto acaba conllevando un sobreesfuerzo por parte del profesorado, lo que limita la práctica de estas propuestas solo a aquellos convencidos y dispuestos a trabajar en su tiempo libre (Ghisla et al., 2010; Ríordáin et al., 2016).

Las restricciones identificadas se pueden relacionar con el cambio de paradigma. La interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad resultan del paradigma del cuestionamiento del mundo en sus múltiples manifestaciones. Mantener el encierro disciplinar es una reacción propia del paradigma de la visita de las obras. Sin embargo, la «disciplina» en el sentido metodológico del trabajo disciplinar o, en palabras de Palmer (1999), las contribuciones al «conocimiento especializado básico» (*core specialized knowledge*) del experto en la materia siguen siendo un elemento fundamental del proceso de cuestionamiento. La dicotomía no está entre disciplinar o interdisciplinar sino entre visita de las obras (disciplinares) y cuestionamiento plural.

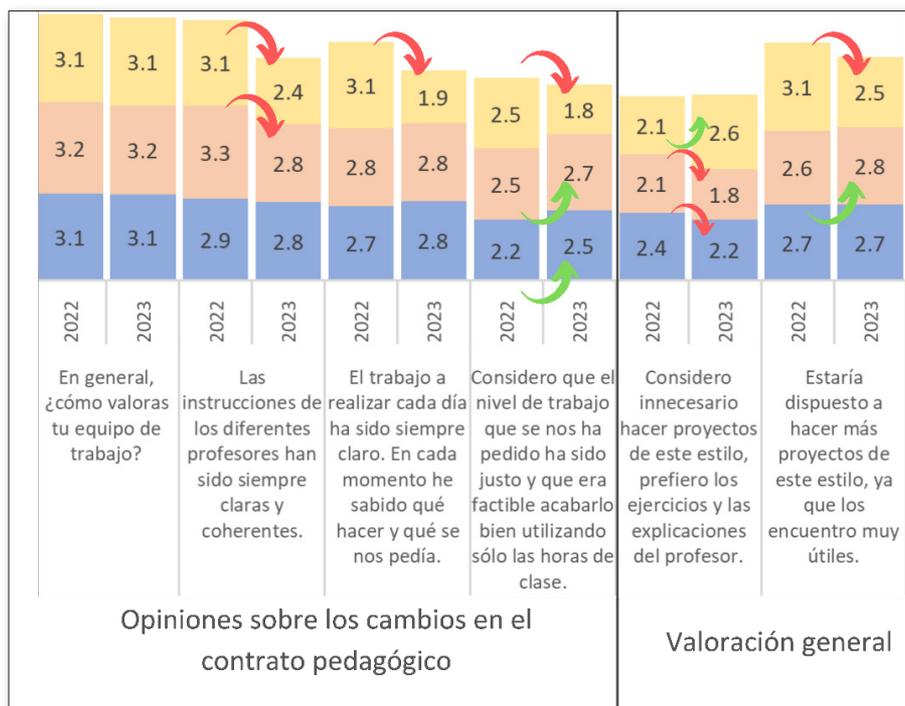
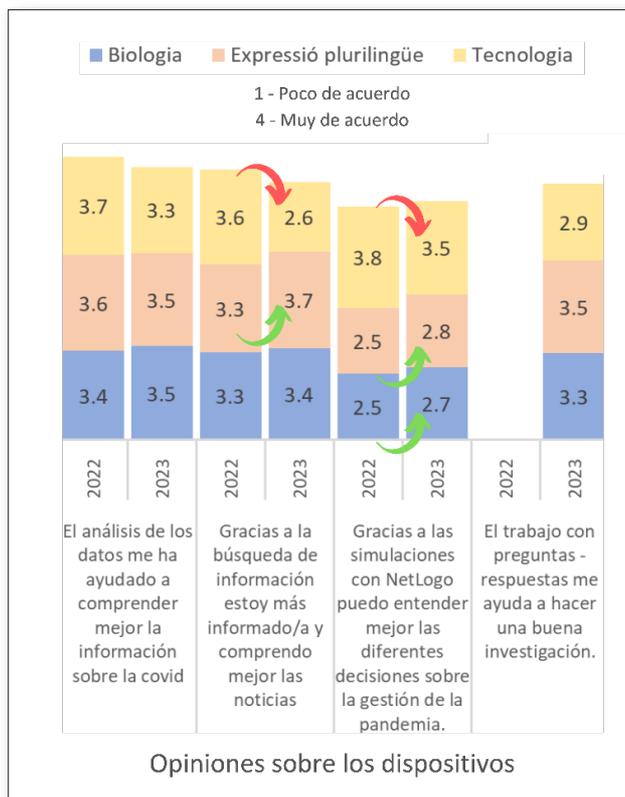


Fig. 8. Comparación de la valoración de los estudiantes respecto al proyecto. https://www.canva.com/design/DAGIsX-g8YQ/7tvWav_hLKhUsILdOZrXKQ/edit?utm_content=DAGIsX-g8YQ&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

AGRADECIMIENTOS

Investigación financiada gracias al proyecto de investigación: PID2021-126717NB-C31 (MCIU/AEI/FEDER, UE).

REFERENCIAS

- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(3), 281-308. <https://revue-rdm.com/1988/ingenierie-didactique-2>
- Artigue, M. (2014). Didactic engineering in mathematics education. En S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of mathematics education* (pp. 159-162). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4978-8_44
- Barquero, B. y Bosch, M. (2015). Didactic engineering as a research methodology: From fundamental situations to study and research paths. En A. Watson y M. Ohtani (Eds.), *Task design in mathematics education: An ICMI study 22* (pp. 249-272). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09629-2_8
- Barquero, B., Bosch, M., Florensa, I. y Ruiz-Munzón, N. (2021). Study and research paths in the frontier between paradigms. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(5), 1213-1229. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1988166>
- Blum, W. y Niss, M. A. (1991). Applied mathematical problem solving, modelling, applications, and links to other subjects? State, trends and issues in mathematics instruction. *Educational Studies in Mathematics*, 22(1), 37-68. <https://doi.org/10.1007/bf00302716>
- Blum, W., Galbraith, P., Henn, H.-W. y Niss, M. (Eds.) (2007). *Modelling and applications in mathematics education: The 14th ICMI study* (vol. 10). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1>
- Bosch, M. (2018). Study and research paths: a model for inquiry. En B. Sirakov, P. N. De Souza y M. Viana (Eds.), *Proceedings of the International Congress of Mathematicians (ICM 2018)* (pp. 4015-4035). World Scientific Publishing. https://doi.org/10.1142/9789813272880_0210
- Bosch, M., Chevallard, Y., García, F. J. y Monaghan, J. (2020). *Working with the anthropological theory of the didactic in mathematics education. A comprehensive casebook*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429198168>
- Bosch, M. y Winsløw, C. (2016). Linking problem solving and learning contents: the challenge of self-sustained study and research processes. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 35(3), 357-401. https://static-curis.ku.dk/portal/files/161008268/BoschWinslow_RDM2016.pdf
- Broggy, J., O'Reilly, J. y Erduran, S. (2017). Interdisciplinarity and science education. En K. Taber y B. Akpan (Eds.), *Science education. New directions in mathematics and science education* (pp. 81-90). Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_6
- Cai, J., Cirillo, M., Pelesko, J. A., Ferri, R. B., Borba, M. D., Geiger, V., Stillman, G. A., English, L. D., Wake, G. y Kaiser, G. (2014). Mathematical modeling in school education: Mathematical, cognitive, curricular, instructional and teacher educational perspectives. En P. Liljedahl, S. Oesterle y C. Nicol (Eds.), *Proceedings of the 38th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education and the 36th Conference of the North American Chapter of the Psychology of Mathematics Education* (pp. 145-172). Springer. <http://www.pme38.com/wp-content/uploads/2014/05/RF-Cai-et-al.pdf>

- Chevallard, Y. (2002). Organiser l'étude: 3. Ecologie & régulation. *Actes de la XIe École d'Été de Didactique des Mathématiques* (pp. 41-56). La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (2013). Enseñar matemáticas en la sociedad de mañana: alegato a favor de un contra-paradigma emergente. *Journal of Research in Mathematics Education*, 2(2), 161-182.
<https://doi.org/10.4471/redimat.2013.26>
- Chevallard, Y. y Bosch, M. (2020). Anthropological theory of the didactic (ATD). En S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of mathematics education* (pp. 53-61), Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-15789-0_100034
- Choi, B. C. y Pak, A. W. (2006). Multidisciplinarity, interdisciplinarity and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 1. Definitions, objectives, and evidence of effectiveness. *Clinical and Investigative Medicine. Medicine Clinique et Experimentale*, 29(6), 351-364.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17330451/>
- Cunningham, E., Smyth, B. y Greene, D. (2021). Collaboration in the time of COVID: a scientometric analysis of multidisciplinary SARS-CoV-2 research. *Humanities & Social Sciences Communications*, 8(1).
<https://doi.org/10.1057/s41599-021-00922-7>
- Domènech-Casal J., Lope, S. y Mora, L. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre Aprendizaje Basado en Proyectos. *Eureka*, 16(2), 1-16.
https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2203
- Domènech-Casal, J. (2022). Situacions d'Aprenentatge. Idees per al desplegament curricular de les ciències. *Ciències: Revista del Professorat de Ciències de Primària i Secundària*, (45), 20-32.
<https://doi.org/10.5565/rev/ciencias.469>
- Elsner, J., Sadler, T., Kirk, E., Rawson, R., Friedrichsen, P. y Ke, L. (2023). Using multiple models to learn about COVID-19 breadcrumb. *The Science Teacher*, 90(3), 40-45.
- English, L. D. (2008). Interdisciplinary problem solving: A focus on engineering experiences. En M. Goos, R. Brown y K. Makar (Eds.), *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Mathematics Education Research Group of Australia* (pp. 187-194). Mathematics Education Research Group of Australasia.
- English, L. D. (2009) Promoting interdisciplinarity through mathematical modelling. *ZDM Mathematics Education*, 41(1-2), 161-181.
<https://doi.org/10.1007/s11858-008-0106-z>
- English, L. D. y Watters, J. J. (2005). Mathematical modelling in the early school years. *Mathematics Education Research Journal*, 16(3), 58-79.
<https://doi.org/10.1007/bf03217401>
- Fidalgo-Neto, A., Lopes, R., Magalhães, J., Pierini, M. y Alves, L. (2014). Interdisciplinarity and teacher education: The teacher's training of the secondary school in Rio de Janeiro-Brazil. *Creative Education*, 5(4), 262-272.
<https://doi.org/10.4236/ce.2014.54035>
- García, F. J., Barquero, B., Florensa, I. y Bosch, M. (2019). Diseño de tareas en el marco de la teoría antropológica de lo didáctico. *Avances de Investigación en Educación Matemática*, (15), 75-94.
<https://doi.org/10.35763/aiem.v0i15.267>
- Gazzola, M. P., Otero, M. R. y Llanos, V. C. (2021). Evolution of a teacher-researcher while developing a co-disciplinary study and research path through five implementations. En B. Barquero, I. Florensa, P. Nicolás, N. Ruiz-Munzón (Eds.), *Extended Abstracts Spring 2019* (pp. 21-28). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-76413-5_3

- Ghisla, G., Bausch, L. y Bonoli, L. (2010). Interdisciplinarity in Swiss schools: A difficult step into the future. *Issues in Integrative Studies*, 28(28), 295-331. https://interdisciplinarystudies.org/wp-content/issues/vol28_2010/11_Vol_28_pp_295_331.pdf
- Hasni, A., Lenoir, Y. y Alessandra, F. (2015). Mandated interdisciplinarity in secondary school: the case of science, technology, and mathematics teachers in Québec. *Issues in Interdisciplinary Studies*, 33(33), 144-180. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1117890>
- Houston, K. (2009). *How to think Like a mathematician: A companion to undergraduate mathematics*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511808258>
- Jefatura del Estado (2020). Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. *Boletín Oficial del Estado*, 340, 122868-122953. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2020/12/29/3>
- Jessen, B. (2014). How can study and research paths contribute to the teaching of mathematics in an interdisciplinary setting? *Annales de Didactiques et de Sciences Cognitives*, 19(1), 199-224. <http://turing.scedu.umontreal.ca/Annales/documents/volume%202019/10Jessen.pdf>
- Klein, J. T. (1990). *Interdisciplinarity: history, theory, and practice*. Wayne State University Press.
- Ledder, G. y Homp, M. (2021). Using a COVID-19 model in various classroom settings to assess effects of interventions. *PRIMUS*, 32(2), 278-297. <https://doi.org/10.1080/10511970.2020.1861143>
- Lenoir, Y. y Hasni, A. (2016). Interdisciplinarity in primary and secondary school: Issues and perspectives. *Creative Education*, 7(16), 2433-2458. <https://doi.org/10.4236/ce.2016.716233>
- Maass, K., Artigue, M., Burkhardt, H., Doorman, M., English, L. D., Geiger, V., Krainer, K., Potari, D. y Schoenfeld, A. (2022). Mathematical modelling - a key to citizenship education. En N. Buchholtz, B. Schwarz y K. Vorhölter (Eds.), *Initiationen Mathematikdidaktischer Forschung: Festschrift zum 70. Geburtstag von Gabriele Kaiser* (pp. 31-50). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-36766-4_2
- Michelsen, C. y Sriraman, B. (2009). Does interdisciplinary instruction raise students' interest in mathematics and the subjects of the natural sciences? *ZDM Mathematics Education*, 41(1-2), 231-244. <https://doi.org/10.1007/s11858-008-0161-5>
- Ortega-Torres, E. y Moncholí Pons, V. (2021). «Expliquem l'Albufera»: transformar una salida de campo en un proyecto interdisciplinar. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 241-252. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3241>
- Palmer, C. L. (1999). Structures and strategies of interdisciplinary science. *Journal of the American Society for Information Science*, 50(3), 242-253. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4571\(1999\)50:3<242::aid-asi7>3.0.co;2-7](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4571(1999)50:3<242::aid-asi7>3.0.co;2-7)
- Parra, V. y Otero, M. R. (2018). Antecedentes de los recorridos de estudio e investigación (REI): características y génesis. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 13(2), 1-18. <https://doi.org/10.54343/reiec.v13i2.239>
- Rasmussen, K. (2016). The direction and autonomy of interdisciplinary study and research paths in teacher education. *Journal of Research in Mathematics Education*, 5(2), 158-179. <https://doi.org/10.17583/redimat.2016.1753>
- Ríordáin, M. N., Johnston, J. y Walshe, G. (2016). Making mathematics and science integration happen: Key aspects of practice. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 47(2), 233-255. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2015.1078001>

- Sala, G., Barquero, B. y Font, V. (2020). Modelización e indagación en la propuesta de un REI codisciplinar de matemáticas e historia. *Educação Matemática Pesquisa*, 22(4), 546-562. <https://doi.org/10.23925/1983-3156.2020v22i4p546-562>
- Saltelli, A., Bammer, G., Bruno, I., Charters, E., Di Fiore, M., Didier, E., Espeland, W., Kay, J., Lo Piano, S., Mayo, D., Pielke, R., Portaluri, T., Porter, T., Puy, A., Rafols, I., Ravetz, J., Reinert, E., Sarewitz, D., Stark, P., ..., Vineis, P. (2020). Five ways to ensure that models serve society: a manifesto. *Nature*, 582(7813), 482-484. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01812-9>
- Sanders, M. H. (2009). STEM, STEM education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26. <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/10919/51616/1/STEMmania.pdf>
- Sawada, Y. (2022). Proposal for teaching mathematical modelling using COVID-19 as an example of an infectious disease epidemic: The case of Japan in the corona vortex. *Contemporary Mathematics and Science Education*, 3(2), ep22017. <https://doi.org/10.30935/conmaths/12363>
- Toma, R. B. y García-Carmona, A. (2021). «De STEM nos gusta todo menos STEM». Análisis crítico de una tendencia educativa de moda. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- Trelles-Zambrano, C., Toalongo, X. y Alsina, Á. (2022). Una actividad de modelización matemática en primaria con datos auténticos de la COVID-19. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(2), 193-213. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3472>
- Tonnetti, B. y Lentillon-Kaestner, V. (2023). Teaching interdisciplinarity in secondary school: A systematic review. *Cogent Education*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2216038>
- Winsløw, C., Matheron, Y. y Mercier, A. (2013). Study and research courses as an epistemological model for didactics. *Educational Studies in Mathematics*, 83(1), 267-284. <https://doi.org/10.1007/s10649-012-9453-3>

Interdisciplinarity in Secondary School Education: a Study and Research path

Susana Vásquez, Berta Barquero y Marianna Bosch
Facultad de Educación, Universitat de Barcelona, Barcelona
susanasquez@ub.edu, bbarquero@ub.edu, marianna.bosch@ub.edu

We start from the hypothesis that the school separation between disciplines hinders inquiry-based teaching. Creating interdisciplinary environments facilitates this approach when disciplinary content is put at the service of studying problematic issues, overcoming the limitations of school organization by subjects.

Some studies indicate that the lack of support and teacher competence are major constraints to effective interdisciplinary education. Research is developed to support and guide the implementation of interdisciplinary approaches, especially in science education.

Within the framework of the Anthropological Theory of the Didactic (ATD), two pedagogical paradigms are identified: a dominant paradigm and an emerging one. The current educational systems are situated in the so-called dominant paradigm of *visiting works*, characterized by the compartmentalization of knowledge into distinct subjects and the definition of educational goals as the study of collections of works within these subjects. The emerging counter-paradigm focuses on *questioning the world*, proposing that educational processes should be led to studying relevant questions from a non-disciplinary perspective. This does not mean abandoning disciplinary knowledge but subordinating its study to the need to address the questions at hand.

ATD studies the conditions and constraints that facilitate or limit the dissemination of knowledge in our society, particularly at schools. The ATD considers knowledge as an institutional construction linked to the study of problematic issues. Inquiry processes are modelled through the Study and Research Paths (SRPs), aiming to answer a generating question posed by the study community. The teacher's role is to guide the class in elaborating a collective answer to this initial question throughout an inquiry process that includes moments of research and moments of study.

The COVID-19 pandemic highlighted the importance of interdisciplinary collaboration, as addressing the pandemic's challenges required input from various fields such as biology, epidemiology, medicine, economics, and social sciences. This situation underscored the relevance of mathematics as a modelling tool for real-life problems. The research presented in this paper aims to determine if SRPs favour interdisciplinary work and in which way. Two research questions are formulated:

- RQ1: How do disciplines intervene in the inquiry dynamics of an SRP, and how is interdisciplinarity generated?
RQ2: Which conditions facilitate and which constraints limit interdisciplinary work in an SRP?

Both research questions are addressed through a case study based on the design and implementation of an SRP related to the evolution of COVID-19 conducted over two years in a secondary school classroom in Spain. Didactic engineering is used as the main methodology, guiding the design and implementation of a pilot study to analyse the devices that support or limit interdisciplinarity, which was subsequently adapted for a second experimentation.

Our analysis reveals three main results. Firstly, the questioning promoted in the two implementations of the SRPs has facilitated and enhanced multidisciplinary. Secondly, the separation of disciplines has facilitated the dynamics of the inquiry, promoting more exchange between disciplines and greater feedback on the questions. Finally, the ecological analysis of the experienced SRPs has enlightened some facilitating didactic devices (such as monodisciplinary working teams, moments of joint presentations, work around a single generative question, or the use of the questions-answers map) and some limiting conditions (such as the lack of resources and professional training).

Our research contributes to establishing that interdisciplinary environments foster inquiry dynamics. However, for the sustainability of the SRP, it seems crucial to preserve spaces for disciplinary work. The SRP proposals provide a promising approach to integrating interdisciplinary inquiry in secondary education, addressing real-life problems, and promoting collaborative inquiry-based learning.