Captura del conocimiento pedagógico del contenido de flujos de materia y energía en dos profesoras de biología que trabajan colaborativamente

Claudia Hinojosa

Magister en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile & Liceo Experimental Manuel de Salas. Chile. claudia.hinojosa@lms.cl

Claudia Vergara-Díaz

Departamento de Educación Inicial, Facultad de Educación, Universidad Alberto Hurtado. Santiago. Chile. clvergara@uahurtado.cl

Hernán Cofré

Instituto de Biología, Universidad Católica de Valparaíso. Chile. hernan.cofre@pucv.cl

[Recibido: 01 julio 2024, Revisado: 10 octubre 2024, Aprobado: 13 enero 2025]

Resumen: El objetivo general de este estudio fue comprender como se desarrolla el Conocimiento Pedagógico del Contenido de materia y energía de dos profesoras con distintos años de docencia, antes y después de trabajar de manera colaborativa en la planificación de la enseñanza en el nivel de noveno grado. Para la obtención de los datos se utilizaron los instrumentos CoRe (Representaciones del Contenido) y PaP-Er (Repertorios de Experiencia Profesional y Pedagógica). Los resultados muestran que, al comienzo de la implementación, el CPC de ambas profesoras posee varias similitudes a través de los diferentes componentes del modelo de Magnusson et al. (1999) a pesar de la gran diferencia en experiencia. Luego de la implementación, ambas profesoras desarrollaron más el componente de conocimiento curricular y de estrategias de enseñanza, para ambas la experiencia de colaborar y planificación en conjunto fue muy valiosa y se reconoce como un factor de desarrollo profesional.

Palabras clave: Conocimiento pedagógico del contenido; Materia y energía; Trabajo colaborativo.

Capturing and change in pedagogical content knowledge of matter and energy flow in two biology teachers working collaboratively

Abstract: The main aim of this study was to understand how Pedagogical Content Knowledge (PCK) in Matter and Energy develops in two teachers with differing years of teaching experience, both before and after they collaborated on teaching planning at the ninth-grade level. Data were gathered using the CoRe (Content Representations) and PaP-Er (Repertoires of Professional and Pedagogical Experience) instruments. The results indicate that, initially, both teachers' PCK showed several similarities across various components of Magnusson et al. (1999) model, despite their differing levels of experience. Following the implementation, both teachers demonstrated further development in curricular knowledge and teaching strategies. Collaborating and planning together proved to be a valuable experience for both teachers, contributing significantly to their professional development.

Keywords: Collaborative work; Matter and energy; Pedagogical Content Knwoledge.

Para citar este artículo: Hinojosa, C., Vergara-Díaz, C. y Cofré, H. (2025) Captura del conocimiento pedagógico del contenido de flujos de materia y energía en dos profesoras de biología que trabajan colaborativamente. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 22*(1), 1601. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i1.1601

Introducción

La enseñanza de las ciencias requiere la aplicación de distintos tipos de conocimientos para facilitar el aprendizaje de los estudiantes (Abell, 2008; Bravo y Santibáñez, 2023). Según Shulman (1986, 1987), existen siete conocimientos profesionales, y uno de los más importantes es el Conocimiento Pedagógico del Contenido (en adelante, CPC). Schulman (1987) afirma que el CPC es «la categoría que con mayor probabilidad distingue el conocimiento del especialista en contenidos del del pedagogo» (p. 8). Otros autores como Magnusson et al. (1999) propusieron un modelo de CPC formado por cinco componentes, orientaciones para la enseñanza de las ciencias (OE), conocimiento de los currículos de ciencias, (CC), conocimiento de la comprensión de los estudiantes (CCE), conocimiento de la evaluación (CE) y conocimiento de las estrategias de instrucción (CEI).

A pesar de que el CPC se ha posicionado como una de las líneas de investigación más importantes dentro de la educación en ciencias (Berry et al., 2015; Ravanal y López, 2016; Larrain et al., 2022; Lederman et al., 2023), poco se sabe sobre cómo se desarrolla este conocimiento durante la vida profesional de los docentes (Vergara y Cofré, 2014; Santibañez et al., 2021; Van Driel et al., 2023). Aunque se ha intentado tipificar modelos de desarrollo del CPC (Henze et al., 2008) y progresiones de aprendizaje con respecto a cada uno de sus componentes (Schneider y Plasman, 2011), no existe una única vía en la que los investigadores estén de acuerdo (Friedrichsen y Berry, 2015; Santibáñez et al., 2021). La literatura de investigación ha demostrado que el CPC del profesor o profesora puede desarrollarse con el tiempo debido a diferentes experiencias, como la formación inicial, los programas de desarrollo profesional y la reflexión del profesor sobre su propia experiencia en el aula (e.g., Bravo y Santibáñez, 2023; Schiering et al., 2023). La reflexión podría proporcionar oportunidades para que los profesores sean conscientes de las conexiones más débiles entre los componentes del CPC y mejoren su coherencia (Aydin et al., 2015; Park y Oliver, 2008; Gao et al., 2021). Un componente importante de esta reflexión desarrollada por el CPC sería la colaboración, ya sea entre profesores en ejercicio (Bravo y Cofré, 2016), entre profesores en formación y tutores de práctica (Bravo y Santibáñez, 2023), o entre profesores e investigadores (Gao et al., 2021).

Por otra parte, los estudios sobre el desarrollo del CPC en profesores de ciencias, y en profesores de biología en particular, se han centrado en temas como: célula (Ravanal y López, 2016), evolución (Bravo y Cofré, 2016; Ravanal et al., 2024), sistema circulatorio (Schmelzing et al., 2013), herencia (Park y Chen, 2012) y fotosíntesis (Park y Chen, 2012; Park et al., 2018). Sin embargo, los estudios sobre CPC en ecología son escasos (Cofré et al., 2023). Enseñar sobre este contenido puede ser difícil ya que los sistemas ecológicos generalmente se comportan de manera no lineal (Korfiatis, 2018). Algunas estrategias importantes para enseñar estos contenidos son el uso de la indagación, las salidas a terreno y la argumentación científica (Bravo-Torija y Jiménez-Alexander, 2013; Korfiatis, 2018; Cofré et al., 2023).

En consecuencia, el objetivo de este estudio es describir el cambio del CPC de dos profesoras de biología durante la enseñanza de la unidad de flujo de materia y energía a estudiantes de noveno grado en Chile.

Marco teórico

Modelos de CPC y su cambio en el tiempo

Luego de que Shulman (1986, 1987) propusiera el concepto de CPC se han propuesto muchos modelos para describir y comprender este conocimiento particular de los profesores (e.g., Magnusson et al., 1999; Park y Oliver, 2008; Gess-Newsome, 2015; Carlson et al., 2019; Vergara et al., 2024). Entre ellos uno de los modelos más utilizados ha sido el modelo de Magnusson et al. (1999), muy probablemente porque este provee de componentes explícitos y fácilmente identificables ideales para evaluar, tanto por separado como sus interacciones (e.g., Park y Oliver, 2008). De hecho, de acuerdo con las últimas revisiones de literatura (e.g., Chan y Hume, 2019; Mientus et al., 2022), este modelo es el más ampliamente utilizado en los estudios de CPC, comprendiendo el 48% de los estudios entre 2008 y 2018, y el 27% de los estudios entre el 2002 y el 2021. Cabe señalar, además, que el modelo pentagonal desarrollado por Park y Oliver (2008), el cual es una modificación del modelo de Magnusson et al. (1999), ya que incluye también los cinco componentes propuestos por estos autores, también es uno de los más utilizados hasta la actualidad (e.g., Chan, 2022; Gao et al., 2021; Ravanal et al., 2024).Por lo tanto, en este estudio utilizaremos el modelo de Magnusson et al. (1999), para describir el desarrollo del CPC, como lo han hecho varios de los últimos trabajos en este tema (e.g., Becerra et al., 2023; Bravo y Santibáñez, 2023; Schiering et al., 2023; Vergara et al., 2024).

Por otra parte, poder desarrollar el CPC es una tarea compleja (Van Driel et al., 2023), porque se requiere de la integración de varios saberes que permitan que el conocimiento científico tenga un significado personal para los estudiantes (Santibáñez et al., 2021; Bravo y Santibáñez 2023). Por otra parte, se ha propuesto que la experiencia por si sola tampoco basta para cambiar el CPC (Friedischen et al., 2009; Chan y Yung, 2018). Por ejemplo, algunos autores proponen que existe una llamada "autoridad de la experiencia", la cual no se relaciona con los años del ejercicio docente, ni con la autoridad de posición, sino con el conocimiento generado de la reflexión sobre la propia acción, por lo que dicha autoridad no se hace evidente (Munby y Russel,1994; Abell, 2008), mientras otros proponen que entre los prerrequisitos para lograr un CPC más sofisticado se encuentra el conocimiento pedagógico general y el conocimiento de la materia o disciplina (Rollnick, 2017; Schiering et al., 2023; Van Driel et al., 2023; Mahler et al., 2024). Además, se ha propuesto que el desarrollo del CPC se ve afectado por las creencias de los profesores sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Friedrichsen et al., 2009; Park y Chen, 2012; Schiering et al., 2023).

Existen diversas formas para apoyar el cambio en el CPC tanto en la formación inicial como continua de profesores (Park y Oliver, 2008; Bravo y Cofré, 2016; Bravo y Santibáñez, 2023). Por ejemplo, Bravo y Santibáñez (2023) mostraron como la colaboración y otros factores promueven el desarrollo del CPC de profesores de física en formación. A través de la comprensión en profundidad de lo que ocurría en las triadas de reflexión entre profesores en formación, tutores de universidad y mentores de escuelas, los autores concluyeron que existían tres maneras en que se favoreció el desarrollo del CPC del profesor en formación: la colaboración para organizar el proceso de práctica pedagógica, la reflexión sobre el desarrollo de las clases implementadas y la reflexión sobre la labor y formación docente. Por lo tanto, la colaboración entre profesores parece ser un tema fundamental en el desarrollo o sofisticación del CPC (Manouchehri, 2002; Santibañez et al., 2021).

Enseñanza de ecología

La ecología ha encontrado su lugar en el currículum de ciencias de la vida, pues permite a los estudiantes aplicar y sintetizar mucho más que otras disciplinas biológicas (McComas, 2002). Además, dentro de la didáctica de la biología, es el contenido que presenta la mayor cantidad de literatura sobre su enseñanza (Cofre et al., 2023). Por otra parte, Korfiatis y Tunnicliffe (2012), proponen un plan progresivo para la enseñanza de la ecología, el cual debería incorporar la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (NOS), ya que la enseñanza de la ecología proporciona experiencias auténticas propias del trabajo científico, las que se pueden efectuar desde los primeros años de escolaridad. Otra forma de enseñar ecología es la indagación en el aula o el laboratorio, a través de escenarios como el cultivo de plantas en botellas, terrarios y acuarios, estrategias ideales para lograr la comprensión de las propiedades de los sistemas ecológicos y desarrollar el pensamiento sistémico (Korfiatis y Tunnicliffe 2012; Ben-Zvi Assaraf y Knippels, 2022). En términos de los contenidos, diversos estudios (Amin, 2009; Amin et al., 2012) han demostrado que la energía es un concepto abstracto que se entiende mediante el uso de múltiples metáforas conceptuales basadas en la experiencia, tanto en el lenguaje cotidiano como científico. Por otra parte, Bravo-Torija y Jiménez-Alexander (2013) realizaron un estudio en un grupo de 134 estudiantes universitarios, en el cual encontraron que, a través de la argumentación, los estudiantes fueron capaces de resolver un problema de sustentabilidad acuícola mejorando la comprensión de los conceptos de flujo de materia y pirámides tróficas.

A pesar de todo este conocimiento reunido sobre enseñanza de la ecología, no existe igual desarrollo de investigaciones sobre cómo los profesores manejan este conocimiento, es decir, sobre el CPC de ecología (Cofré et al., 2023). Solo existen escasos ejemplos del estudio del CPC de profesores sobre el tema de fotosíntesis (Park y Chen, 2012; Park et al., 2018).

A la luz de lo antes revisado, la pregunta que guió esta investigación fue: ¿Cuáles son las características de cada uno de los componentes del CPC sobre flujo de materia y energía de dos profesoras de biología antes y después de trabajar colaborativamente?

Metodología

El presente estudio es de naturaleza cualitativa y corresponde a un estudio de caso de dos profesoras, con diferentes años de docencia, planificando juntas cinco lecciones sobre flujo de materia y energía (Yin, 2018). Específicamente, el diseño es un estudio de caso en tanto es una investigación empírica que estudia un fenómeno contemporáneo en profundidad y en el contexto de la vida real, a través de la recolección y análisis de múltiples fuentes de información (Yin, 2018).

Contexto y participantes

En el currículo chileno, la ecología está presente en los documentos oficiales tanto para la educación primaria como para la secundaria. En el nivel de noveno grado, se aborda en 3 unidades: Unidad 2: Organismos en los Ecosistemas, Unidad 3: Materia y Energía en el Ecosistema, y Unidad 4: Impactos en los Ecosistemas y Sustentabilidad. Este estudio se centró en la Unidad 3. En esta investigación participaron dos profesoras de biología de una escuela privada con diferentes años de experiencia (1 y 22 años). En general, los profesores en Chile dedican gran parte de su jornada laboral a realizar clases, por lo que no tienen muchas horas para preparar sus lecciones y menos para colaborar con otros colegas (Miño, 2016; Cofré et al., 2015). Como un acuerdo entre una de las investigadoras y las profesoras

de este estudio se asignó un horario fijo en que las profesoras trabajaron, una hora y media cada semana por tres semanas. La conversación entre ambas docentes se registró a través de audios, ya que los investigadores no estuvieron presentes. Las profesoras planificaron de manera conjunta e idearon la secuencia de clases que impartirían entorno a la unidad. Ellas comentaron cómo podrían abordar la unidad, qué experiencias previas tenían cada una y crearon material de apoyo nuevo. Por ejemplo, decidieron que, para iniciar la unidad, crearían una presentación en power point en la que entregarían a sus estudiantes los resultados de una investigación sobre los efectos de la escasez de ciertos nutrientes en el color de las hojas de algunas plantas y les plantearon la siguiente pregunta a los estudiantes: ¿Qué función cumplen los pigmentos en las transferencias de materia y energía en el ecosistema? Para ello, prepararon material fotográfico de cromatografías ya realizadas de hojas de distintos colores. Por lo tanto, en este trabajo se entendió la colaboración como una retroalimentación y el acceso a nuevas ideas e información que se posibilita a través de la interacción y el dialogo con otras personas, lo cual a su vez contribuye a crear una cultura de aprendizaje y una comunidad, donde el aprendizaje es valorado y estimulado (Chou, 2011).

Antes de comenzar todo el proceso y luego de conocer los objetivos de la investigación, ambas profesoras firmaron un consentimiento informado.

Recolección y producción de datos

Se realizó una entrevista semiestructurada, «Representación de contenidos: CoRe", antes y después del trabajo colaborativo de planificación (Loughran et al., 2004, 2012). Cada una de las ocho preguntas incluidas en la entrevista CoRe se relacionó con uno de los componentes del modelo de Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) de Magnusson et al. (1999) siguiendo a Bravo y Cofré (2016). Junto con la aplicación final de la CoRe, también se incluyó una pregunta sobre su percepción del trabajo de planificación colaborativa. Además, las profesoras asignaron un horario fijo durante el cual trabajaron, una hora y media durante tres semanas. Las conversaciones entre ambas profesoras se grabaron en audio. Las profesoras planificaron e idearon conjuntamente la secuencia de clases que impartirían en torno a la unidad Materia y energía.

Análisis de datos

Posterior a la entrevista CoRe, se transcribieron las grabaciones de audio y se realizó un proceso de codificación para desarrollar una interpretación sistemática y metódica de la información (Saldaña, 2015). Inicialmente, se realizó un primer nivel de análisis, donde se determinaron las unidades de análisis y se asignaron códigos de manera inductiva a cada respuesta de las docentes. Luego, se relacionaron las citas que ejemplificaban los códigos del primer nivel de análisis. A continuación, se llevó a cabo un segundo nivel de análisis, en el que cada código se asoció a uno de los componentes del CPC del modelo de Magnusson et al. (1999). En primera instancia, la codificación de cada entrevista se realizó de forma autónoma por parte de dos investigadores, para luego reunirse y llegar a un consenso sobre los códigos que mejor representan la idea del docente. Para las 4 entrevistas CoRe hubo una coincidencia de más del 82% de los códigos (82% a 91%), estableciéndose un 100% de acuerdo luego de la discusión de las discrepancias con una tercera investigadora (Bravo y Cofré, 2016). Así, una vez que se sistematizaron los datos en códigos, subcategorías y categorías, se crearon redes temáticas para cada una de las entrevistas CoRe (Saldaña, 2015). Por ejemplo, a la pregunta del CoRe post: ¿Cuáles son las preconcepciones u otras características de los estudiantes que influyen de mayor forma en el aprendizaje de materia y energía? (modificada para la idea central de la unidad), la

profesora 2 respondió: *"mm, yo creo que igual siempre persiste la preconcepción del tema del bosque como único ecosistema, cuando uno plantea como microecosistemas, como una planta sola, u otros actores dentro del ecosistemas también es complejo, como por ejemplo el rol de los hongos dentro del ecosistema, siempre está asociado a descomponer".* Para este extracto, la investigadora 1 reconoció dos códigos: "ecosistema limitado al bosque" y "hongos sólo descomponen", mientras que el investigador reconoció dos códigos análogos: "bosque único ecosistema" y "hongos asociados a descomponer". La generación de códigos se realizó tratando de asociarlo lo más posible al texto original o codificación "In Vivo" (Saldaña, 2015).

Resultados

Caso profesora 1: CoRe inicial

En relación con la importancia que los estudiantes debiesen aprender esta unidad de materia y energía, la profesora 1 señaló que para ella era importante concientizar acerca del cuidado del entorno (componente de OE), a través de la argumentación sobre el cuidado del medio ambiente: *"Bueno, yo creo que la unidad está porque me parece que tiene que ver con concientizar un poco a los chiquillos sobre su entorno natural y el cuidado de éste y que bueno no solamente haya un cuidado como por concientización digamos superficial, sino que también, desde la mirada, desde el argumento de las razones de por qué debería ser, es decir, cómo ellos son capaces de argumentar el cuidado de su medio".* Entre las dificultades o limitaciones que podrían obstaculizar el aprendizaje de esta unidad (componente CCE), ella plantea que este contenido les parece ajeno a los estudiantes. Ella cree que no forma parte de sus intereses y que está fuera de contexto y de ahí la importancia de realizar un buen diagnóstico. En cuanto a las preconcepciones de los estudiantes la profesora 1 plantea principalmente que el proceso de transformación de energía es algo abstracto. Así, ella plantea que: *"Yo siento que una de las preconcepciones más establecidas es pensar en sistemas ecológicos como un espacio natural no intervenido y siento que ellos ven el problema medioambiental como que hay que cuidar los bosques que son lugares como que ellos no están, cuando vayan al bosque lo cuidan, pero no aquí y ahora"*. En relación con las ideas centrales de materia y energía (componente CC), la profesora 1 señala que éstas se relacionan con el concepto de ecología y medio ambiente natural: *"me parece que el contenido más importante tiene que ver con ecología, con centrar la mirada en el medio ambiente natural y bueno lo que ellos tienen como contexto actual".* La profesora tiene algunas dudas relacionadas con los contenidos propios de esta unidad, reconoce que no sabe con precisión cuáles son los contenidos de la unidad y que necesitaría leerlos nuevamente para estar segura. En cuanto a las estrategias más efectivas para enseñar materia y energía (componente CE), ella reconoce principalmente la enseñanza basada en problemas**.** Finalmente, las formas de evaluación que utiliza la profesora son transferencia de lo aprendido a una situación real en otro contexto: *"aplicación de los conceptos en una situación determinada apelando a que ellos utilicen ese significado en una situación real que tuvieran que resolver"* (componente CE). La Figura 1 muestra el diagrama con los códigos que resultaron de la aplicación del CoRe pre.

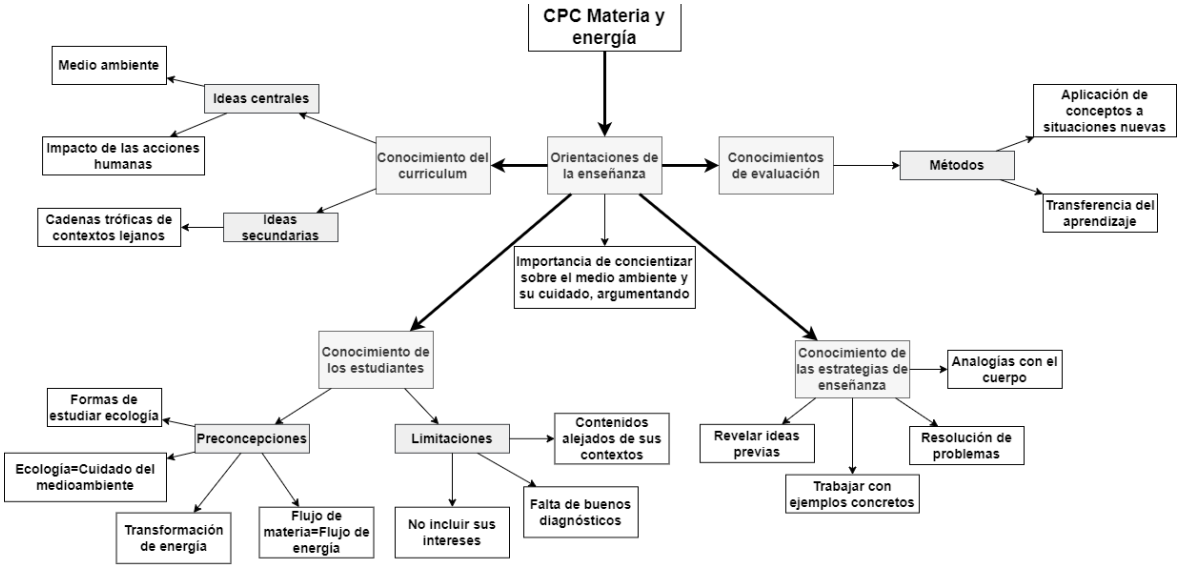

Figura 1. Representación del CoRe inicial (Pre) de materia y energía para la profesora 1.

Caso profesora 1: CoRe final

Luego de haber realizado las clases, la profesora 1 propone que el objetivo de enseñar este contenido se relaciona con promover en las y los estudiantes el cuidado de los recursos naturales y el rol ciudadano que les corresponderá desempeñar el día de mañana como constructores de soluciones a problemáticas medioambientales que afectan a nuestro país. Así, ella sostiene que: *"son ellos los que probablemente construyan sociedad el día de mañana y se encarguen de solucionar parte de estos problemas"* (Figura 2). Frente al currículum, la profesora 1 se muestra crítica pues propone que la presentación de los objetivos de la unidad de materia y energía, son lineales y se presentan de manera aislada, pero ella ahora ve que los objetivos deben estar integrados. Además, ella plantea que es necesario tomarse el tiempo de leer el currículum y que ojalá esa lectura fuera entre varios profesores para así poder levantar una secuencia que sea integradora y permita abarcar el currículum de una manera global y no parcelada: *"ningún problema ecológico va a bordar un solo aspecto a no ser que el profesor lo proponga de esa manera"*. Además, ella identifica nuevas preconcepciones en los estudiantes, como el no entender la complejidad de las tramas y cadenas tróficas y reconoce otras dificultades para la comprensión como el poco manejo de habilidades científicas (Figura 2).

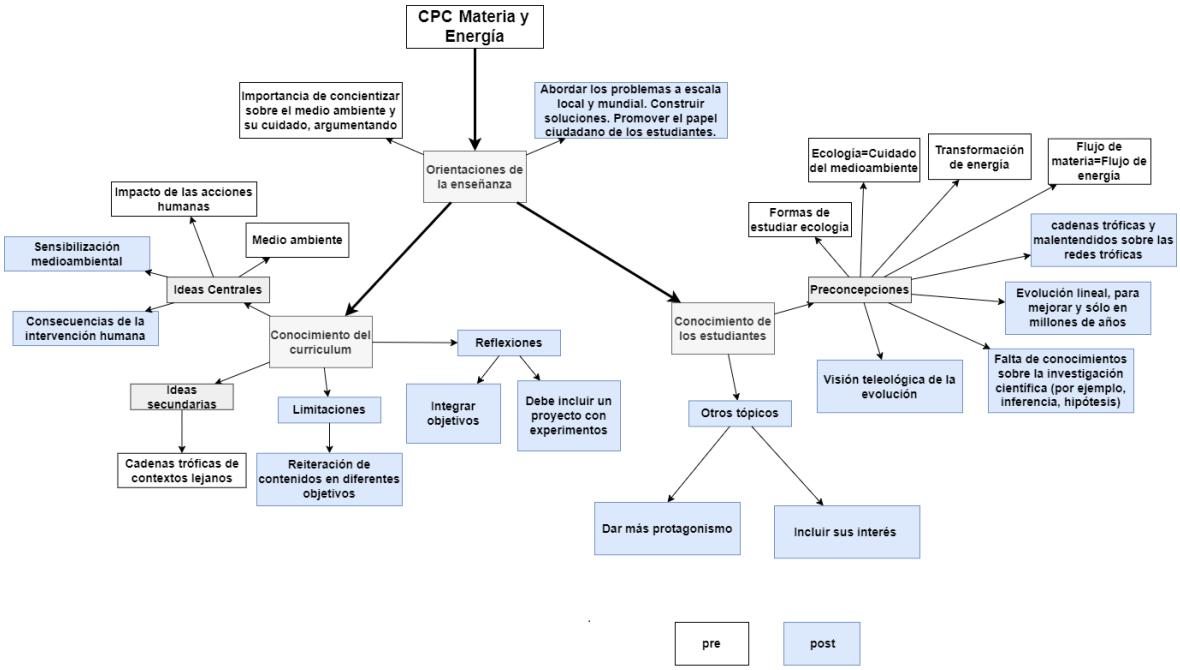

Figura 2. Análisis de los componentes de la profesora 1, Conocimiento de currículum y conocimiento de estudiantes, previo y posteriormente realizadas las clases (los cuadros en celeste corresponden a la etapa post).

Por otra parte, la profesora 1 plantea que la estrategia de problematización les permitió a sus estudiantes integrar de mejor manera lo aprendido. Ella insiste en la necesidad de concientizar sobre el medio ambiente y para ello cree que el problematizar es la mejor estrategia, pero además ahora agrega la idea de las consecuencias de las intervenciones humanas, tanto a nivel local como del planeta: *"yo vi que les llegaba más a los niños abordar el tema de la unidad de ecología desde la concientización y del impacto del ser humano sobre el medio ambiente"*. Entre los requisitos que tiene para un docente la aplicación de esta estrategia, plantea que es importante trabajar con otros para así establecer acuerdos y que una de las limitaciones es el tiempo que dispone el docente para ello. La profesora 1 afirma que la evaluación debe estar en estrecha relación con el grupo curso, dado el carácter único de cada estudiante. Menciona que el hecho de haber realizado evaluación formativa, pero que no incidiera en la calificación no permitió que la calificación final incluyera algunos aprendizajes logrados: "*a veces pasó que hubo grupos que si trabajaron, que si integraron, pero su informe no era tan bueno y tuvieron una calificación deficiente, cuando ellos si habían trabajado en biblioteca, entonces a lo mejor la evaluación formativa y la sumativa, ambas debieron haber tenido calificación"* (Figura 2).

Caso profesora 2: CoRe inicial

En relación con el conocimiento del currículum la profesora 2, plantea que la idea central de la unidad de materia y energía tiene que ver con las relaciones entre los niveles de organización ecológica y la relación entre lo biótico y lo abiótico, poniendo énfasis en su relación con el nivel comunitario. Para ella es importante que se expliquen el cómo ocurren los procesos: *"la relación entre los seres vivos dentro de la comunidad y además las relaciones con el ambiente abiótico"* (Figura 3). En cuanto a las estrategias, ella plantea que antes utilizaba las salidas a terreno, pero que son difíciles de implementar y que las condiciones climáticas por ahora no lo permitirían. Otros años la profesora ha utilizado la enseñanza por transmisión o tradicional, siendo ésta a la que más recurre porque: *"Es que*

yo creo que no es fácil para los estudiantes la comprensión de este tema" (Figura 3). Relacionado con el porqué es importante para los estudiantes aprender acerca del flujo de la materia y energía, la profesora 2 plantea que este contenido les permite aprender otras cosas, sobre todo los efectos de la contaminación, ya que el saber cómo funciona un ecosistema les permitirá comprender el impacto de un contaminante en él. Entre las limitaciones para que los estudiantes aprendan el tema, ella reconoce la complejidad de implementar actividades experimentales significativas para los estudiantes. En años anteriores, ella dice que se han limitado [ella y otros colegas] a hacer un laboratorio de fotosíntesis, pero no conoce más actividades prácticas. Entre las preconcepciones sobre materia y energía, la profesora reconoce la idea de que el ecosistema es solo el bosque, y como los libros de textos han contribuido a esa idea: *"es difícil sacarlos del ecosistema del bosque, no reconocen otro ecosistema, creo que ahora en las bases [documento curricular] vienen enfatizados ejemplos como a nivel local, como nacional, pero no reconocen otros ecosistemas"*. Otro elemento que dificulta la implementación de actividades se relaciona con la falta de tiempo que reconoce que tiene para buscar actividades (Figura 3).

Por otro lado, la profesora 2 enuncia que las formas de evaluar que ella conoce son: a través de formulación de preguntas, situaciones problemáticas, y sobre todo le preocupa que los estudiantes transfieran lo aprendido en nuevos contextos: *"los evaluamos poniéndolos en situaciones que además de saber lo que me quieren decir pueden explicarlos en otro contexto"* (Figura 3).

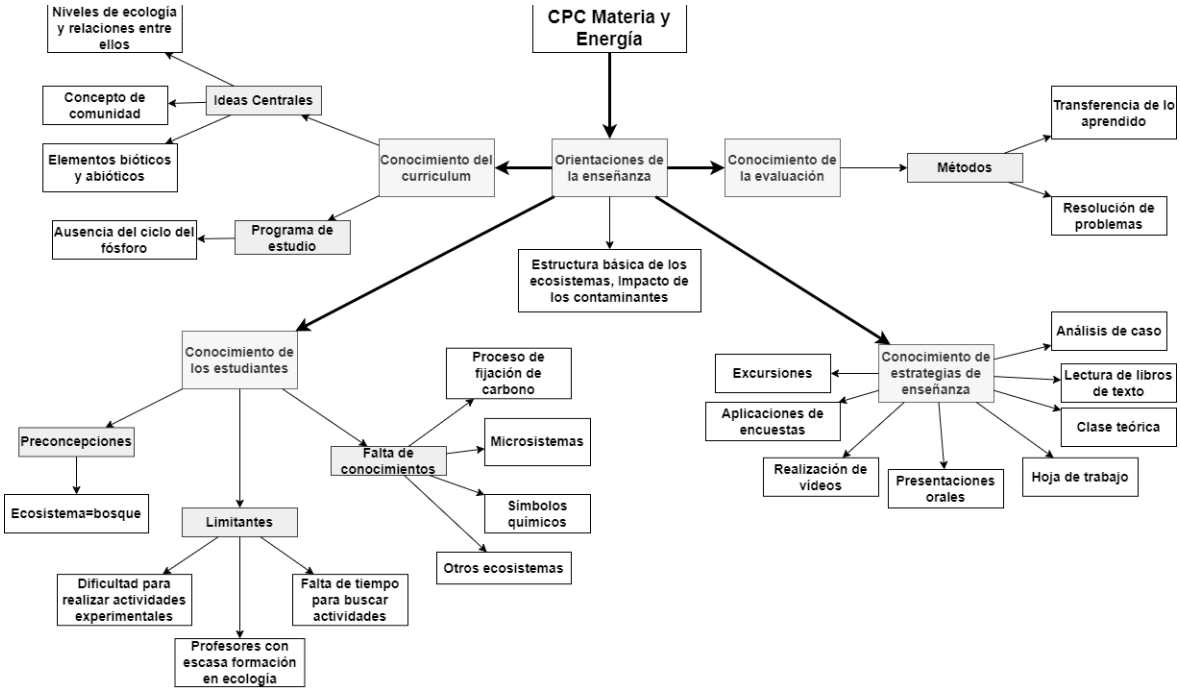

Figura 3. Representación del CoRe inicial de materia y energía para la profesora 2.

Caso profesora 2: CoRe final

Luego de haber realizado las clases, la profesora 2 reconoce que las ideas que ella reconocía como centrales no lo fueron tanto y que lo central fue el intercambio de materia y energía y que esta idea permitió entrelazar los otros conceptos: *"la primera parte era ciclos de la materia y eso después se afianzó con el tema de fotosíntesis y factores que*

afectaban la fotosíntesis, pero tenían el insumo de porqué era necesario el carbono, de dónde provenía el carbono, que pasaba en el medio acuático, porqué era importante el nitrógeno, como que fue súper útil que primero desarrollaran esa parte y después la otra parte de fotosíntesis y sus factores" (Figura 4). Ella no había usado la estrategia de problematización en noveno grado, y a raíz de la propuesta de la profesora 1 asumió el desafió y su evaluación de la estrategia utilizada es muy positiva: *"ahí uno se da cuenta que hubo una internalización porque al final aplican lo que ellos habían investigado o lo que habían investigado sus compañeros y lo habían puesto en común después, se nota que lo internalizaron, la cosa general"*, aunque reconoce que faltan insumos bibliográficos para los estudiantes. A la estrategia utilizada le haría algunos cambios para próximos años, como por ejemplo que el tiempo dedicado a la investigación bibliográfica fuese más acotado, o bien que los contextos elegidos contaran con mayor apoyo bibliográfico, seleccionar más textos de apoyo a la investigación y sobre todo que los estudiantes llevaron a cabo sus investigaciones experimentalmente (Figura 4).

En cuanto al aprendizaje de los estudiantes, la profesora 2 reconoce que para ellos fue más importante aprender del flujo de materia y energía, ya que les permitió explicar otros fenómenos, tales como la fotosíntesis: *"ellos ya habían investigado o sus compañeros le habían relatado en la exposiciones porqué era importante el carbono, que estaba en todas las moléculas orgánicas, porqué los organismos lo respiraban, otros hacían fotosíntesis, entonces había como un apresto respecto de ese contenido, entonces no fue así como fotosíntesis dos puntos*" (Figura 4).

Ella plantea que de las preconcepciones que persisten en lo estudiantes está la noción de ecosistema restringido solo a un bosque, además el limitar el rol de los hongos y bacterias a aspectos negativos. Fue sorpresivo para sus estudiantes que estos organismos participaran activamente en la fijación del nitrógeno, al respecto señala que los medios de comunicación afianzan esa preconcepción, *"estamos bombardeados en la televisión, por ejemplo, lysol, mata el 99 % de las bacterias u hongos de los pies, hongos de las uñas, no sé, pero en ninguna parte les resaltamos el rol benéfico que pueden tener las bacterias u hongos"*. Ella dice que en algunos estudiantes logró observar que persiste la idea de que las plantas solo hacen fotosíntesis y que solo los animales respiran. En relación con la forma en cómo se evaluó la unidad de materia y energía, plantea que la novedad estuvo en que no realizaron pruebas, esto para algunos estudiantes representó una dificultad, sobre todo en aquellos que no trabajan colaborativamente, y aquí el rol docente es clave en la integración de esos estudiantes (Figura 4).

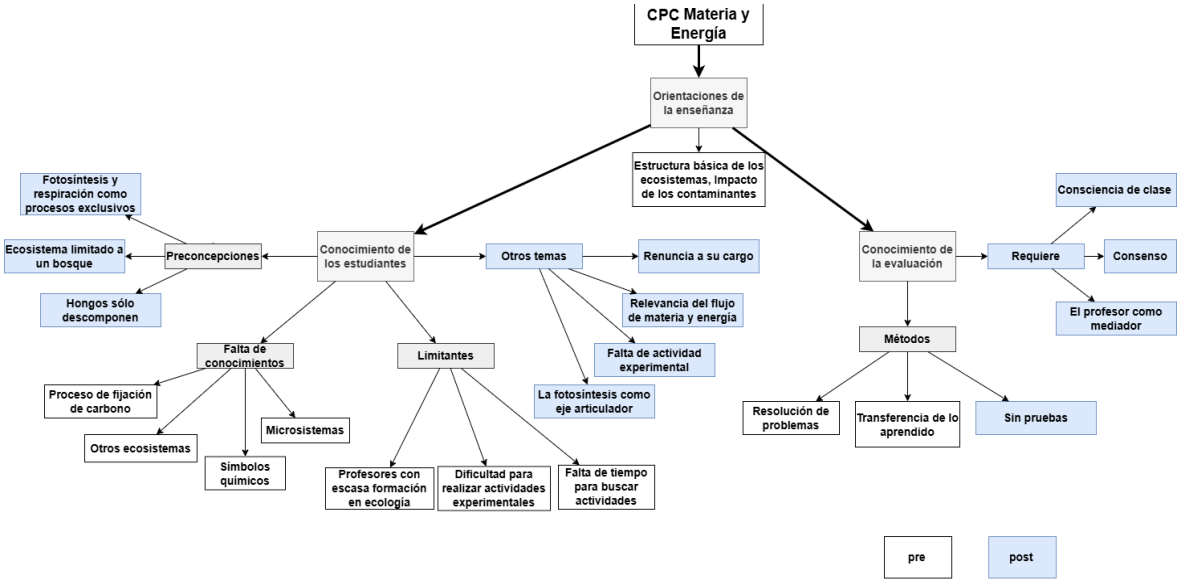

Figura 4. Análisis de los componentes de la profesora 2: Conocimiento de estudiantes y conocimiento de evaluación, previo y posteriormente realizadas las clases (los cuadros sin relleno corresponden a etapa post).

Percepción del trabajo colaborativo realizado

La profesora 1 señala que sintió que ambas profesoras eran responsables si una actividad resultaba o no resultaba. Ella se sintió respaldada, pues las propuestas utilizadas eran mutuas, no era un trabajo individual: "*ambas nos sentíamos tan responsables de que había que mejorar esa actividad, ... ambas estábamos totalmente de acuerdo con lo que estábamos haciendo".* Por otro lado, reconoce que los acuerdos alcanzados fueron posibles gracias a tener un tiempo resguardado, estructurado, exclusivo para la planificación, para trabajar juntas, para discutir la propuesta de cada actividad, más allá de una reunión en que se de cuenta en qué se está trabajando: *"tener un tiempo donde tú sabes que te vas a juntar, o tener una propuesta, o que tal día vas a discutir la propuesta para la actividad del curso, entonces teniendo un tiempo estipulado, ayuda, ayuda al trabajo".*

La profesora 1 señala que esta experiencia de trabajar de manera colaborativa le permitió establecer acuerdos y establecer que la responsabilidad del proceso era conjunta. De hecho, ambas profesoras plantean que les faltó tiempo para realizar las actividades experimentales, y que esta falta de tiempo tiene relación con movilizaciones estudiantiles, que implicaron un tiempo de huelga y luego hubo que reprogramar el proceso. Para poder concretar los acuerdos, la profesora 1 señaló que se requiere un tiempo para poder trabajar juntas, señalando que más que la cantidad de tiempo, lo importante es que exista un tiempo resguardado, y ese tiempo se utilice para discutir una propuesta o crearla de manera conjunta, poder planificar, y realizar reflexión docente. Este trabajo reflexivo lo diferencia del trabajo de reunión de asignatura, el cual es más bien administrativo donde los otros docentes pueden dar aportes, pero no con la intención del currículum, lo cual afecta la planificación y la reflexión: *"siento que ese tiempo resguardado es difícil que se dé con todos los profesores, ... salen buenas ideas de ahí, pero como que se disipa, se empieza como a disolver la planificación o la reflexión"*.

Por su parte, la profesora 2 señala que el trabajar juntas favoreció el trabajo colaborativo, y permanentemente hace alusión que lo logrado fue el resultado de un trabajo conjunto, como por ejemplo: *"Les pusimos un caso, les pusimos una situación problemática, ...nos dimos cuenta de que faltan insumos en la biblioteca para seguir usando esa metodología,*

…en la primera y segunda evaluación nosotras les dijimos que escogieran, pero temáticas que nosotros habíamos pensado por ellos". Un ejemplo claro de esta colaboración fue la estrategia de problematización propuesta por la profesora 1 a la profesora 2. Esta última no había utilizado esta estrategia anteriormente para enseñar los contenidos de materia y energía, y al respecto precisó: *"es una metodología que hay que instalar, no es como algo que uno pueda dejar de hacer, sobre todo en ciencia, que tenemos la costumbre de entregarles todo listo y en realidad pueden buscar una solución (hablando de los estudiantes) y a veces mucho más inteligente que las que presentamos nosotras"*.

Discusión y conclusión

Captura y cambio del CPC de flujo de materia y energía

Los resultados de la aplicación de la entrevista CoRe en ambas profesoras sugieren que la reflexión sobre la propia práctica permite un cambio del CPC. La literatura describe que la experiencia personal es una forma de desarrollar el CPC siempre que implique reflexionar sobre la propia práctica, entendida como cuestionar lo que uno hace (Shulman, 1987; Munby y Russell, 1994; Gao et al., 2021; Bravo y Santibáñez, 2023). Ambas profesoras reconocen que, a través de esta experiencia, sus estudiantes lograron resultados de aprendizaje más amplios de los que otros han obtenido en años anteriores y ellas mismas reconocen haber aprendido de esta experiencia, lo que constituye evidencia de que la reflexión colaborativa puede incentivar el desarrollo del CPC, como se describe en la literatura (e.g., Friedischen et al., 2009; Bravo y Cofré, 2016; Bravo y Santibáñez, 2023). Ambas profesoras mostraron progresos en su conocimiento curricular, ya que al final analizaron los documentos oficiales de forma más crítica y con mayor flexibilidad desarrollando una visión más integrada de los objetivos de aprendizaje, lo que podría indicar un CPC más maduro según Anwar et al. (2014).

Por otra parte, como resultado de la interacción entre las profesoras, se propusieron ciertos ajustes a la planificación lo que significa que la posibilidad de reflexionar juntas les permitió reorganizar sus ideas y modificar su CPC, específicamente en lo que respecta al conocimiento de estrategias de enseñanza, lo que se alinea con los hallazgos revisados por Schneider y Plasman (2011). Como se puede ver en los diagramas, todos los componentes del CPC se enriquecieron en cada docente, aunque no con la misma profundidad, lo que indica que se trata de un constructo personal, que podría estar mediado por una serie de factores internos y externos y refleja la naturaleza variable del CPC (Loughran et al., 2004). Las condiciones en las que se produjo el cambio del CPC de las profesoras implicó un entorno de dialogo y colaboración entre iguales, en el que las profesoras planificaron juntas, crearon materiales y reflexionaron sobre su práctica durante el ejercicio profesional, sin importar la diferencia en años de experiencia entre ellas. Esto no es tan común en la investigación sobre el desarrollo del CPC, ya que, por lo general los docentes en ejercicio que participan en programas de desarrollo profesional cuentan con el apoyo de investigadores (e.g., Bravo y Cofré, 2016; Gao et al., 2021). Es probable que contar con tiempo para la reflexión conjunta sea un factor importante para lograr estos cambios. La reflexión conjunta les permitió aprender y desarrollarse profesionalmente, lo cual se alinea con el papel de la reflexión docente descrito en la literatura, ya que permite a los profesores adoptar un enfoque analítico de la enseñanza (Vanegas y Fuentealba, 2019). Para ambos docentes, utilizar principalmente la metodología de resolución de problemas les permitió devolver el control del aprendizaje a los estudiantes, convirtiéndose ellas en facilitadoras más que transmisoras de conocimientos. La profesora 2 expresó su

insatisfacción con las actividades que había utilizado para enseñar la unidad de materia y energía en años anteriores, a pesar de su amplia experiencia docente, lo que demuestra que esta profesora hizo uso de la autoridad de la experiencia (Munby y Russell, 1994).

Implicancias y limitaciones

Al tratarse de un estudio de caso, no es posible extrapolar estos resultados a otros contextos educativos. Sin embargo, se podría continuar investigando en otros escenarios utilizando los espacios de trabajo conjunto como espacios posibles de colaboración y modificación del CPC de profesores de ciencias. Además, aunque este trabajo sólo presenta una parte de las fuentes de datos generadas dentro de un proyecto de investigación más amplio, también se podrían haber obtenido registros del CPC procedimental o ejecutado grabando las clases como se hace en otros estudios (Park y Oliver, 2008). En este sentido, la mayoría de los datos recogidos fueron sobre el CPC declarado o personal de las profesoras y no sobre su CPC en acción o ejecutado. Para la comunidad educativa a la cual pertenecen las profesoras, esta investigación podría servir como insumo para considerar nuevos criterios a la hora de asignar cursos a los profesores y asignar horas de trabajo. En Chile, la mayoría de los profesores dictan muchas horas de clases, lo que dificulta generar espacios de colaboración como el descrito en este estudio (Cofré et al., 2015, 2022). Resultados como estos sugieren que el tiempo de planificación podría ser reinterpretado, entendiéndolo no solo como un tiempo administrativo, sino también como un tiempo de encuentro con otros, donde prime el diálogo pedagógico y el ambiente para desarrollar intencionalmente el CPC.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Fondo Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (FONDECYT) N°1211920 de HC y a DIP2023-I de CV.

Referencias

Abell, S. K. (2008). Twenty years later: does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education, 30*(10), 1405-1416.

Amin, T. G. (2009). Conceptual Metaphor Meets Conceptual Change. *Human Development, 52*(3), 165-197. https://www.jstor.org/stable/26764902

Amin, T. G., Jeppsson, F., Haglund, J. y Strömdahl, H. (2012). Arrow of time: Metaphorical construals of entropy and the second law of thermodynamics. *Science Education*, 96, 818-848.

Anwar, Y., Rustaman, N. y Widodo, A. (2014). Hypothetical model to developing pedagogical content knowledge (PCK) prospective biology teachers in consecutive approach. *International Journal of Science and Research, 3*(12), 138-143.

Aydin, S., Demirdogen, B., Nur Akin, F., Uzuntiryaki-Kondakci, E. y Tarkin, A. (2015). The nature and development of interaction among components of pedagogical content knowledge in practicum. *Teaching and Teacher Education*, *46*, 37-50. https://doi.org/10.1016/j.tate.2014.10.008

Becerra, B., P., Núñez, C., Vergara, D., Santibáñez, D., Krüger y H. L. Cofré (2023). Developing an instrument to assess pedagogical content knowledge for evolution. *Research in Science Education, 53*, 213-229.

Ben-Zvi Assaraf, O., y Knippels, M. P. J. (2022). *Fostering understanding of complex*

systems in biology education. Springer.

Berry, A., Loughran, J. y van Driel, J.H. (2015). Reviewing the roots of knowledge of pedagogical content. *International Journal of Educational Sciences, 30*(10)*,* 1271-1279.

Bravo-Torija, B. y Jiménez-Alexander, M. P. (2013). ¿Criaríamos leones en granjas? Uso de pruebas y conocimiento conceptual en un problema de acuicultura. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 10*(2), 145-158.

Bravo, P., y Cofré, H. (2016). Developing biology teachers' pedagogical content knowledge through learning study: the case of teaching human evolution. *International Journal of Science Education, 38*(16), 2500-2527.

Bravo, P. y Santibañez, D. (2023). Conocimiento Profesional Docente en la Tríada Formativa: un estudio de caso en Chile. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *20*(1), 1-18.

Carlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A., Carpendale, J., Kam Ho Chan, K., Cooper, R., Friedrichsen, P., Gess-Newsome, J., Henze-Rietveld, I., Hume, A., Kirschner, S., Liepertz, S., Loughran, J., Mavhunga, E., Neumann, K., Nilsson, P., Park, S., Rollnick, M., Sickel, A., Schneider, R. M., Suh, J. K., …Wilson, C. D. (2019). The Refined consensus model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. En A., Hume, R. Cooper y A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers´ Knowledge for Teaching Science*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_2

Chan, K.K.H. (2022). A critical review of studies using the pedagogical content knowledge map approach. *International Journal of Science Education, 44*(3), 487–513.

Chan, K. y Hume, A. (2019). Towards and consensus Model: Literature Review of How Science Teachers´ Pedagogical Content Knowlodge is investigated in Empirical Studies. En A., Hume, R. Cooper y A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers´ Knowledge for Teaching Science*. Springer.

Chan, K. y Yung, B. (2018). Developing knowledge of pedagogical content to teach a new subject: more than teaching experience and subject knowledge. *Research in Science Education, 48,* 233-265.

Chou, C. (2011). Teachers' professional development: investigating teacher's learning to do action research in a professional learning community. *The Asia-Pacific Education Researcher, 20*(3), 412-437

Cofré, H. L., Vergara, C., González-Weil, C., Santibáñez, Ahumada, G., Furman, M., Podesta, M. E., Camacho, J. Gallego, R. y Pérez, R. (2015). Science Teacher Education in South America: the case of Argentina, Chile, and Colombia. *Journal of Science Teacher Education, 26*(1), 45-63.

Cofré, H. L., Vergara, C., Santibáñez, D. y Pavez, J. (2022). Preservice science teacher education around the globe: trends, challenges, and future directions. En J. Luft y G. Jones (Eds.) *Handbook of Research on Science Teacher Education* (pp. 157-171). Taylor & Francis.

Cofré, H. L., Vergara, C., Santibáñez, D., Núñez, P. y McComas, W. (2023). Biology Education: What Research Says. En N.G., Lederman, D. L. Zeidler y J. Lederman (Eds.) *Handbook of Research on Science Education Volume III* (pp. 586- 618).

Taylor & Francis.

Friedrichsen, P.J., Abell, S.K., Pareja, E.M., Brown, P.L., Lankford, D.M. y Volkmann, M.J. (2009). Does teaching experience matter? Examining biology teachers' prior knowledge for teaching in an alternative certification program. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*, 357–383.

Friedrichsen, P. y Berry, A. (2015). Science Teacher PCK learning progressions. Promises and challenges. En A. Berry, P. Friedrichsen y J. Loughran (Eds), *Re-Examining Pedagogical Content knowledge in science Education* (pp. 214-228). Routledge.

Gao, S., Damico, N. y Gelfuso, A. (2021). Mapping and reflecting on integration of the components of pedagogical content knowledge (PCK) for teaching natural selection: A case study of an experienced middle-school science teacher. *Teaching and Teacher Education*, *107*, 103473. https://doi.org/10.1016/j.tate.2021.103473

Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK summit. En A. Berry, P. Friedrichsen y J. Loughran (Eds.). *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*. Routledge.

Henze, I., van Driel, J. y Verloop, N. (2008). The change of science teachers´ personal knoledge about teaching models and modelling in the contex of science education reform. *International Journal of Science Education*, *29*(15), 1819-1846.

Korfiatis, K.J. y Tunnicliffe, S.D. (2012). The living world in the curriculum: ecology, an essential part of biology learning. *Journal of Biological Education*, *46*(3), 125-127

Korfiatis, K. (2018). Ecología. En K. Kampourakis y M.J. Reiss (Eds.), *Teaching biology in schools: global research, issue sand trends tends* (pp. 153-163). Routledge. https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1733183

Larrain, A., Gómez, M., Calderón, M., Fortes, G., Ramírez, F., Guzmán, V. y Cofré, H. L. (2022). Descripción del conocimiento pedagógico del contenido de la argumentación en docentes que enseñan ciencias naturales en educación pública en Chile. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 19*(1). https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i1.1602

Lederman, N.G., Zeidler, D.L. y Lederman, J.S. (Eds.). (2023). *Handbook of Research on Science Education: Volume III* (1st ed.). Routledge.

Loughran, J., Mulhall, P. y Berry, A. (2004) In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, *41,* 370-391.

Loughran, J., Mulhall, P. y Berry, A. (2012). *Understanding and developing science teachers' pedagogical content knowledge*. Sense Publishers.

Mahler, D., Bock, D., Schauber, S. y Harms, U. (2024). Using longitudinal models to describe preservice science teachers' development of content knowledge and pedagogical content knowledge. *Teaching and Teacher Education*, *144*, 104583.

Magnusson, S., Krajcik, J. y Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. En J. Gess-Newsome y N.G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Kluwer Academic.

Manouchehri, A. (2002). Developing teaching knowledge through peer discourse. *Teaching and Teacher Education, 18,* 715-737.

McComas, W.F. (2002). The ideal environmental science curriculum: history, rationales, misconceptions and standards. *American Biology Teacher*, *64*(9), 665-672.

Mientus, L., Hume, A., Wulff, P., Meiners, A. y Borowski, A. (2022). Modelling STEM teachers' pedagogical content knowledge in the framework of the Refined Consensus Model: A systematic literature review. *Education Sciences*, *12*, 385. https://doi.org/10.3390/educsci12060385

Miño, A. (2016). Calidad laboral en docentes chilenos. *Summa Psicológica*, *13*(2), 45-55.

Munby, H. y Russel, T. (1994). The Authority of experience in Learning to teach: Messages from a Physics Methods Class. *Journal of Teacher Education, 45*(2)*,* 6-95

Park, S. y Oliver, J. (2008). Revisiting the conceptualization of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research Science Education,* 38(2), 261-284.

Park, S. y Chen, Y. (2012). Mapping out the Integration of the Components of Pedagogical Content Knowledge (PCK): Examples from High School Biology Classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(7), 922–941.

Park, S., Suh. J. y Seo, K. (2018). Development and Validation of Measures of Secondary Science Teachers' PCK for Teaching Photosynthesis. *Research in Science Education*, 48, 549–573.

Ravanal, E. y López, F. (2016). Mapa del conocimiento didáctico y modelo didáctico en profesionales del área biológica sobre el contenido de células. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *13*(3), 725-742.

Ravanal, E., Ottogalli, E., López-Cortés, F., Alarcón, J. y Amórtegui, E. (2024). Characterisation of the pedagogical knowledge of evolution content using the mapping approach. *Journal of Biological Education.* https://doi.org/10.1080/00219266.2024.2365659

Rollnick, M. (2017). Learning about semi conductors for teaching the role played by content knowledge in pedagogical content knowledge (PCK) development. *Research in Science Education*, *47*(4), 833-868.

Saldaña, J. (2015). *The coding manual for qualitative researchers*. Sage Publications.

Santibañez, D, Cofré, H. y Vergara, C. (2021). El desarrollo del conocimiento pedagógico del contenido de profesores de biología en ejercicio. En H. Cofré, C. Vergara y A. Spotorno (Eds.). *Enseñar evolución y genética para la alfabetización científica* (371-401.). Ediciones universitarias de Valparaíso.

Schiering, D., Sorge, S., Keller, M. M., y Neumann, K. (2023). A proficiency model for pre service physics teachers' pedagogical content knowledge (PCK) what constitutes high-level PCK. *Journal of Research in Science Teaching*, *60*(1), 136–163.

Schmelzing, S., van Driel, J. H., Jüttner, M., Brandenbusch, S., Sandmann, A. y Neuhaus, B. J. (2013). Development, evaluation, and validation of a paper-and-pencil test for measuring two components of biology teachers' pedagogical content knowledge concerning the "cardiovascular system". *International Journal of Science and*

Mathematics Education, *11*(6), 1369-1390. https://doi.org/10.1007/s10763-012-9384-6

Schneider, R. M. y Plasman, K. (2011). Science teacher learning progressions. *Review of Educational Research, 81*(4), 530–565.

Shulman, L.S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, *15*(2), 4-14.

Shulman, L.S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harward Educational Review*, *57*(1), 1-22.

Van Driel, J. H., Hume, A. y Berry, A. (2023). Research on science teacher knowledge and its development. En N. Lederman, D., Zeidler y J. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*, Volume III (pp. 1123–1161). Routledge.

Vanegas, C., y Fuentealba, R. (2019). *Reflexión docente: Perspectivas teóricas, críticas y modelos para el desarrollo profesional de profesores.* Editora Appris.

Vergara, C. y Cofré, H. (2014). Conocimiento Pedagógico del Contenido: ¿el paradigma perdido en la formación inicial y continua de profesores en Chile? *Estudios Pedagógicos, 1,* 323-328.

Vergara, C., Bassaber, A., Núñez Nieto, P., Becerra, B., Hurtado, H., Santibáñez, D. y Cofré, H. (2024). A map of collective pedagogical content knowledge as a basis for studying the development of biology teachers' personal PCK of evolution. *International Journal of Science Education*, 1-23. https://doi.org/10.1080/09500693.2024.238184

Yin, R.K. (2018). *Case study research and Applications*. Sixth Edition. Sage Publications.