



Fotografía  
*Lina Marcela Almaciga Camargo*

# CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO EN DOCENTES DE EDUCACIÓN AMBIENTAL DE COLEGIOS PÚBLICOS DE BOGOTÁ, COLOMBIA

## Pedagogical Content Knowledge about Climate Change in Environmental Education Teachers from Public Schools in Bogotá, Colombia

## Conhecimento didático do conteúdo sobre mudanças climáticas em professores de educação ambiental de escolas públicas de Bogotá, Colômbia

Yeinson Fernando Cerquera\*   
Miquel Àngel Essomba\*\* 

Fecha de recepción: 15 de agosto de 2023  
Fecha de aceptación: 15 de abril de 2024

### Cómo citar

Cerquera, Y. F. y Essomba, M. Á. (2024). Conocimiento Didáctico del Contenido sobre cambio climático en docentes de educación ambiental de colegios públicos de Bogotá, Colombia, *Bio-grafía*, 17(33), 114-128. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.17.num33-20006>

### Resumen

En este artículo se presentan los resultados de uno de los objetivos propuestos en una investigación doctoral en educación, en el que se buscaba identificar el nivel de Conocimiento Didáctico del Contenido (PCK, por sus iniciales en inglés) sobre cambio climático, en docentes de colegios públicos de Bogotá, pertenecientes al Proyecto Ambiental Escolar (PRAE). La investigación se enfocó en dos componentes del PCK: el conocimiento del contenido (CK, por sus iniciales en inglés) y el Conocimiento de las

\* Candidato a Doctor en Educación, Universidad Autónoma de Barcelona. Funcionario Secretaría de Educación del Distrito, Bogotá. [yfcerqueram@gmail.com](mailto:yfcerqueram@gmail.com)

\*\* Doctor en Pedagogía. Profesor de la Universidad Autónoma de Barcelona. [miquelangel.essomba@uab.cat](mailto:miquelangel.essomba@uab.cat)

Dificultades de Aprendizaje en los estudiantes (KSLD, por sus iniciales en inglés). Se seleccionaron estos dos componentes, debido a que investigaciones recientes proponen que el KSLD es una vía plausible para desarrollar el PCK de los maestros a partir de su CK. Se aplicó un cuestionario de CK y uno de KSLD a una muestra de 223 docentes y se hizo uso del método correlacional para establecer relaciones entre estos dos componentes.

Los resultados muestran un nivel de desempeño medio en el CK y un desempeño bajo en el KSLD, sobre cambio climático. Asimismo, se detectó una correlación positiva moderada entre estos componentes. Se infiere que un CK débil sobre el tema, dificulta el KSLD y con ello, plantear estrategias pedagógicas pertinentes, orientadas al aprendizaje de los estudiantes. Esta investigación acude al marco del PCK, como vía para impulsar el conocimiento de los docentes que se desempeñan en el campo de la educación ambiental, específicamente en temas complejos que representan enormes desafíos en la actualidad, como lo es el cambio climático.

**Palabras claves:** conocimiento didáctico del contenido; conocimiento de las dificultades de aprendizaje de los estudiantes; conocimiento del contenido; educación ambiental; cambio climático

## Abstract

This article presents the results of one of the objectives proposed in a doctoral research in education, which aimed to identify the level of Pedagogical Content Knowledge (PCK) about climate change in teachers of public schools in Bogotá, belonging to the Proyecto Ambiental Escolar (PRAE). The research focused on two components of PCK: Content Knowledge (CK) and Knowledge of Student Learning Difficulties (KSLD). These two components were selected because recent research suggests that KSLD is a plausible way to develop teachers' PCK from their CK. A CK and KSLD questionnaire was applied to a sample of 223 teachers, and the correlational method was used to establish relationships between these two components.

The results show an average level of performance in CK and a low performance in KSLD regarding climate change. Likewise, a moderate positive correlation was detected between these components. It is inferred that a weak CK on the subject hinders KSLD and, consequently, the development of appropriate pedagogical strategies aimed at student learning. This research resorts to the PCK framework as a way to boost the knowledge of teachers working in the field of environmental education, specifically in complex topics that pose significant challenges today, such as climate change.

**Keywords:** pedagogical content knowledge; knowledge of student learning difficulties; content knowledge; environmental education; climate change

## Resumo

Este artigo apresenta os resultados de um dos objetivos propostos em uma pesquisa de doutorado em educação, que buscava identificar o nível de Conhecimento Didático do Conteúdo (PCK, pela sigla em inglês) sobre mudanças climáticas em professores de escolas públicas de Bogotá, pertencentes ao Projeto Ambiental Escolar (PRAE). A pesquisa focou em dois componentes do PCK: o Conhecimento do Conteúdo (CK, pela sigla em inglês) e o Conhecimento das Dificuldades de Aprendizagem dos Estudantes (KSLD, pela sigla em inglês). Esses dois componentes foram selecionados porque pesquisas recentes sugerem que o KSLD é uma via plausível para desenvolver o PCK dos professores a partir de seu CK. Um questionário de CK e um de KSLD foram aplicados a uma amostra de 223 professores, e o método correlacional foi utilizado para estabelecer relações entre esses dois componentes.

Os resultados mostram um nível de desempenho médio em CK e um desempenho baixo em KSLD sobre mudanças climáticas. Além disso, foi detectada uma correlação positiva moderada entre esses componentes. Infere-se que um CK fraco sobre o tema dificulta o KSLD e, conseqüentemente, o desenvolvimento de estratégias pedagógicas apropriadas voltadas para a aprendizagem dos estudantes. Esta pesquisa utiliza o quadro do PCK como uma forma de aprimorar o conhecimento dos professores que atuam no campo da educação ambiental, especialmente em temas complexos que representam grandes desafios na atualidade, como as mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** conhecimento didático do conteúdo; conhecimento das dificuldades de aprendizagem dos estudantes; conhecimento do conteúdo; educação ambiental; mudanças climáticas



## Introducción

En este artículo se presentan los resultados de uno de los objetivos propuestos en una tesis doctoral en educación, de la Universidad Autónoma de Barcelona, en el que se buscaba identificar el PCK en cambio climático (en adelante, cc) en una muestra de docentes de educación ambiental de los colegios públicos de Bogotá. Para tal fin, se evaluaron dos componentes del PCK: CK y KSLD y se determinó la relación entre estos dos componentes, a partir de un análisis estadístico de correlación.

Es importante señalar que el término *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) es traducido, por sugerencia de Marcelo (1993), como Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC). En esta investigación, se abordan dos componentes del PCK: CK y KSLD, cuyos acrónimos reportados en la literatura internacional corresponden a los términos en inglés. Por lo tanto, se hará uso del acrónimo PCK.

En el contexto escolar colombiano, la educación ambiental (en adelante, E.A) se promueve desde la estrategia de los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE), reglamentada por el Decreto 1743 de la Ley General de Educación 115 de 1994. Sin embargo, y casi 30 años después de la institucionalización de esta estrategia, el panorama de la E.A en los colegios del país parece no ser muy diferente a lo detectado en sus inicios, tal como lo evidencian los diagnósticos del estado de los PRAE realizados por Alape y Rivera (2016), Burgos (2017) y Bustamante *et al.* (2017), en los que se ha evidenciado como problemáticas de estos proyectos el activismo sin sentido, la perspectiva fragmentada y reduccionista de los problemas ambientales, la falta de impacto en los contextos comunitarios, y las prácticas conductistas y la perspectiva naturalista del ambiente.

El desafío del cc demanda una E.A que dé cuenta de la complejidad de la problemática, a nivel ecosistémico y social, y que contribuya a promover en los ciudadanos habilidades para la acción (Favier *et al.*, 2021; González Gaudiano, 2007; Jie *et al.*, 2021). La educación para el cc es un desafío inexorable y una necesidad impostergable, no solo por la magnitud de las consecuencias en diferentes dimensiones de la sociedad, sino por el ritmo en que evoluciona la problemática (González Gaudiano y Meira Cartea, 2020). Sin embargo, la misma complejidad del cc y lo abstracto que pueden ser los conceptos asociados al tema, lleva a que, en el ámbito escolar, frecuentemente se repliquen errores conceptuales (Clausen, 2018).

En este sentido, el presente trabajo acude al marco del PCK como una vía para impulsar el conocimiento de los docentes que se desempeñan en el campo de la E.A.

Shulman (1986) define el PCK como una amalgama entre el conocimiento de la materia y el conocimiento pedagógico de los maestros, necesarios para comprender cómo determinados temas se organizan y se adaptan al contexto del aprendizaje de los estudiantes.

Para Kaya *et al.* (2021), el modelo de consenso refinado del PCK, propuesto en 2016, no es transparente con la génesis del PCK, al no conectar el CK con los otros componentes del PCK. Para los autores, el dominio del CK les permite a los maestros hacer conjeturas sobre las dificultades de aprendizaje de los estudiantes y generar al mismo tiempo estrategias instruccionales y de evaluación orientadas a generar un cambio conceptual en los estudiantes. Por lo tanto, esta investigación acude a la fundamentación conceptual y al diseño metodológico planteado por los autores, por considerarse de amplio rigor científico y acorde con los intereses de la investigación.

## El PCK: un conocimiento propio de los profesores

Shulman (1986) define el PCK como una amalgama entre materia y pedagogía, que constituye una esfera exclusiva de los maestros, su propia forma especial de comprensión profesional; es decir, el PCK le permite a los maestros hacer comprensible el conocimiento en el aula, valiéndose para ello de estrategias instruccionales, analogías, ejemplos, metáforas, demostraciones, experimentos, entre otros. Parga y Mora (2014) consideran que el PCK es el escenario en el cual se puede comprender la compleja relación entre pedagogía y contenido en la actividad docente. Shulman (1987) planteó siete componentes del PCK:

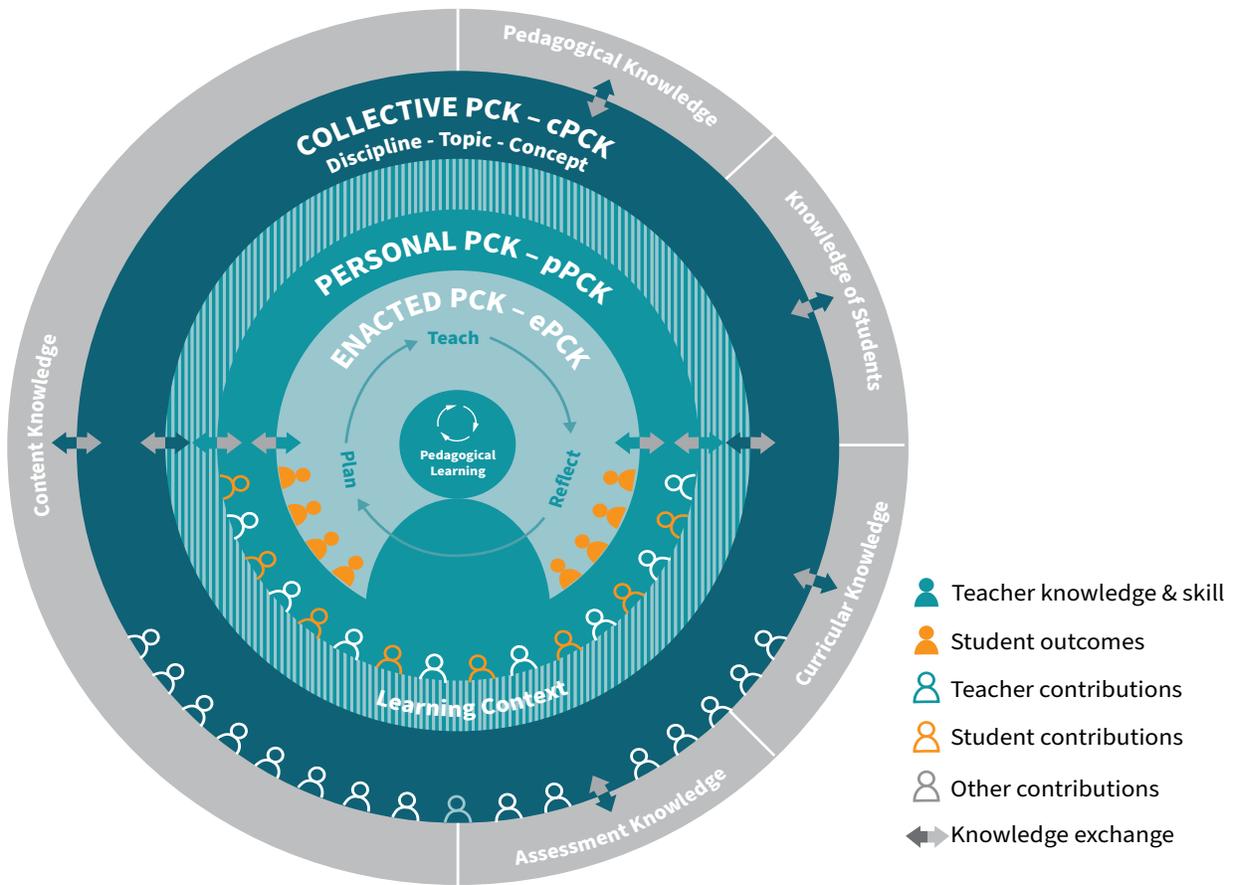
- El conocimiento del contenido: dominio de la información de la materia.
- El conocimiento pedagógico general: gestión y organización del aula.
- El conocimiento del currículo: manejo de herramientas y materiales en el aula.
- El conocimiento didáctico del contenido: amalgama entre contenido y pedagogía, para hacer comprensible los contenidos a los estudiantes.
- El conocimiento del alumno y de sus características: dificultades de aprendizaje.
- El conocimiento de los contextos educativos: características del contexto de aprendizaje y el funcionamiento de la estructura organizacional de la escuela y el sistema educativo.
- El conocimiento de los objetivos, las finalidades y los valores educativos, y sus fundamentos filosóficos e históricos.

En la cumbre sobre PCK –llevada a cabo en Leiden, Holanda, en 2016– se presentó un modelo refinado del PCK, que más adelante fue publicado por Carlson y Daehler (2019). En este modelo se mantienen los conocimientos de base planteados por Shulman (1987) y Grossman (1990). El modelo (figura 1) presenta una estructura dinámica en la construcción del PCK del maestro; es decir, es mediado por las contribuciones de los estudiantes, de otros maestros y del contexto. De esta manera, hay un PCK personal, uno colectivo o canónico (que se construye de manera colectiva y reflexiona sobre las experiencias particulares de los maestros) y, finalmente, uno promulgado, que se evidencia en la práctica del maestro. De acuerdo con el modelo, el contexto de aprendizaje es el marco del PCK personal y el promulgado; sin embargo, no hace parte del PCK colectivo, ya que, en esencia, este recoge diferentes experiencias de los maestros en el aula, las

cuales inherentemente deberían estar permeadas por el conocimiento del contexto.

Para Kaya *et al.* (2021), el modelo de consenso refinado no es transparente con la génesis del PCK, al no conectar el CK con los otros componentes del PCK, tales como el KSLD, el conocimiento evaluativo y el conocimiento de las estrategias de instrucción. Los autores, respondiendo al llamado de los investigadores en PCK frente a esta dificultad, proponen un modelo en el cual el KSLD es una vía plausible para desarrollar el PCK de los maestros a partir de su CK. Para los autores, con base en los hallazgos de Chan y Yung (2018), el dominio del CK les permite a los maestros hacer conjeturas sobre las dificultades de aprendizaje de los estudiantes y generar al mismo tiempo estrategias instruccionales y de evaluación orientadas a generar un cambio conceptual en los estudiantes.

**Figura 1.** Modelo refinado del PCK.



**Fuente:** gráfico tomado de Carlson y Daehler (2019).

## PCK en educación ambiental (E.A) y en educación para el desarrollo sostenible (EDS)

Si bien el PCK ha sido objeto de investigaciones en disciplinas de amplia trayectoria, como las ciencias naturales, no significa que sea ajena a disciplinas emergentes como la E.A. De hecho, Zhou (2015) considera que el conocimiento del contenido pedagógico ambiental es necesario para situar la E.A en un campo disciplinar y profesionalizar a los docentes que trabajan en el área, que frecuentemente lo hacen por un interés particular y/o de manera intuitiva, o que, en el peor de los escenarios, la ven como una carga adicional impuesta. Por lo tanto, surgen desafíos importantes en el campo de la formación de educadores ambientales, especialmente en el contexto de la didáctica ambiental, en el cual el PCK se posiciona como un marco de investigación (Parga y Mora, 2016).

De acuerdo con Kadji *et al.* (2013), el PCK es particularmente importante para áreas innovadoras y complejas como la EDS, debido a que es un campo progresivo, transformador y ambicioso que desafía las prácticas pedagógicas de los docentes, para dar forma a un futuro sostenible. En la EDS convergen el pensamiento sistémico, el conocimiento crítico, la competencia para la acción, la voluntad política y la naturaleza participativa. Por lo tanto, la pedagogía tradicional centrada en la instrucción, el conductismo y la transmisión del conocimiento no es el marco más acorde para dar respuesta a su finalidad (Ernst y Erickson, 2018; Kadji *et al.*, 2013; Katsenou *et al.*, 2013).

En la actualidad, resulta fundamental trabajar el PCK de temas controvertidos, como las cuestiones socioambientales (Parga y Mora, 2014), o lo que los autores llaman *contenidos socialmente vivos*. Estos son necesarios para abordar los desafíos ambientales que, cabe destacar, no se limitan a la esfera de lo biofísico, sino que resultan de las complejas interacciones entre la sociedad y la naturaleza (Sauvé, 1999). De acuerdo con Parga y Mora (2014), se requiere de un profesorado que configure su PCK frente a los múltiples cambios de los sistemas sociales y en el que se aborden contenidos que respondan a la sostenibilidad, al CC, la salud humana, entre otros.

En este sentido, el PCK en E.A no debería ser un campo particular de los docentes de ciencias naturales. Se requiere de una fundamentación teórica en la formación de docentes de diferentes áreas, que permita consolidar la E.A como un campo de profesionalización y de investigación (Duarte, 2020).

## Materiales y métodos

Se hizo uso del método cuantitativo de tipo correlacional para establecer las relaciones entre el CK y el KSLD de los maestros participantes. Según Monje (2011), “en este tipo de investigación se persigue fundamentalmente determinar el grado en el cual las variaciones en uno o varios factores son concomitantes, con la variación en otro u otros factores” (p. 101). El diseño metodológico de esta investigación se basó en el estudio de Kaya *et al.* (2021).

### Participantes

Participaron 223 docentes de colegios públicos de Bogotá, pertenecientes al Proyecto Ambiental Escolar (PRAE). La muestra fue probabilística, con un nivel de confianza del 95 %. Los años de experiencia en la docencia de los participantes fueron: menos de un año (2), 1-5 (9), 5-10 (32), 10-20 (88) y más de 20 años (92). Sin embargo, es importante aclarar que el objetivo de esta fase de la investigación fue identificar el PCK de los docentes en CC, sin considerar los años de experiencia. En una fase posterior de la investigación se analizarán las relaciones entre el PCK y diversos factores del desarrollo profesional docente, incluyendo la experiencia.

### Instrumentos

#### Diseño

Para identificar el CK de los docentes, se elaboró un cuestionario de 14 preguntas (10 cerradas y 4 abiertas), con preguntas de manejo disciplinar del contenido, por ejemplo: mencione y explique 3 medidas de adaptación al cambio climático en el contexto colombiano. El cuestionario fue validado por seis expertos en CC –en su mayoría, docentes de universidades–. Se diseñó un formato de validación, en el que los expertos debían evaluar el instrumento de acuerdo con criterios de pertinencia, cohesión, complejidad, redacción y fundamentación de las preguntas.

Para identificar el KSLD, se elaboró un cuestionario de cuatro viñetas, cada viñeta con dos preguntas. Por ejemplo, en una de las viñetas se presentaron cuatro dibujos realizados por estudiantes, en los que se representó su comprensión del CC, y se les preguntó a los docentes “¿qué piensa sobre las ideas de los estudiantes sobre el CC de acuerdo con lo observado en los dibujos?”, “¿cuáles considera son las fuentes de las concepciones previas de los estudiantes sobre el tema?”. El cuestionario fue validado por ocho expertos en educación –en su mayoría,

docentes universitarios-. Se empleó el mismo formato de validación del cuestionario CK.

Ambos cuestionarios fueron piloteados con una muestra de 12 profesionales de E.A de la Secretaría de Educación

de Bogotá, quienes realizan acompañamiento pedagógico a los colegios para la implementación de los PRAE. En la tabla 1 se presentan los tópicos generales que se abordaron en el cuestionario de CK; y en la tabla 2, los tópicos del cuestionario KSLD.

**Tabla 1.** Tópicos de las preguntas del cuestionario CK.

Pregunta	Tópico
1	Concepto de clima.
2	Concepto de efecto invernadero.
3	Concepto de cambio climático.
4	Efectos del cambio climático en los océanos.
5	Identificación de los gases efecto invernadero.
6	Identificación del acuerdo de París sobre el nivel de temperatura global.
7	Identificación de las consecuencias del aumento de concentración CO <sub>2</sub> en el planeta.
8	Identificación de los sumideros de CO <sub>2</sub>
9	Identificación de la principal fuente en Colombia relacionada con el aumento de los GEI.
10	Identificación de medidas de adaptación al cambio climático.
11	Comprensión de la relación de la ganadería con la crisis climática.
12	Comprensión de medidas de mitigación individuales frente al cambio climático.
13	Relación del cambio climático con la salud de las personas.
14	Comprensión de medidas de adaptación al cambio climático en el contexto colombiano.

**Tabla 2.** Tópicos de las preguntas del cuestionario KSLD.

Viñeta	Pregunta	Tópico
I	1	Comprensión de las concepciones alternativas de los estudiantes sobre la relación del cambio climático y cambios en el uso del suelo.
	2	Estrategias pedagógicas que emplea el docente para enseñar cambio climático.
II	1	Interpretación de las argumentaciones de los estudiantes sobre un experimento en efecto invernadero.
	2	Comprensión de la utilidad del experimento para explicar el efecto invernadero.
III	1	Análisis de los resultados obtenidos en un diagnóstico sobre las percepciones de los estudiantes sobre cambio climático.
	2	Identificación de estrategias pedagógicas para generar un cambio conceptual en los estudiantes sobre el cambio climático.
IV	1	Comprensión de las concepciones alternativas de los estudiantes sobre cambio climático a partir de información gráfica (dibujos realizados por estudiantes).
	2	Identificación de las fuentes de donde provienen las concepciones alternativas de los estudiantes sobre cambio climático.

## Aplicación

La aplicación de ambos instrumentos fue posible gracias al apoyo de la Universidad del Rosario en Bogotá, que proporcionó el espacio en la sala de informática, y de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, que respaldó económicamente la actividad. Se programaron dos fechas y horarios diferentes en octubre de 2022, para que los docentes asistieran según su disponibilidad. A cada docente se le asignó un computador y se les compartió el enlace de los cuestionarios, los cuales se habían diseñado previamente en la herramienta de formularios en línea de Google. Este enlace también contenía un consentimiento informado con detalles de los fines de la investigación. Los docentes respondieron el cuestionario de CK, en promedio, en 20 minutos; y el de KSLD, en 40 minutos.

## Análisis de datos

### Prueba de confiabilidad de los instrumentos

Se calculó el coeficiente Alpha de Cronbach para determinar la confiabilidad de cada uno de los cuestionarios aplicados.

### Parametrización de los datos

Los datos se parametrizaron de acuerdo con el diseño metodológico propuesto por Kaya *et al.* (2021). Las respuestas a las preguntas cerradas del cuestionario CK, se calificaron así: 0 para las incorrectas y 3,5 para las correctas. En cuanto a las preguntas abiertas de este mismo formulario se calificaron de la siguiente manera: 0 para respuestas ingenuas (poco informadas), 1 para respuestas con conocimiento mixto (en parte creíbles, no del todo informadas) y 3,5 para respuestas que demostraron

conocimiento informado sobre el tema. Las preguntas del cuestionario KSLD, de tipo abiertas, se calificaron de la misma manera que las preguntas abiertas del CK (0/1/3,5).

### Agrupación en niveles de desempeño

Se sumaron las puntuaciones obtenidas en las respuestas de cada uno de los participantes y se agruparon a los docentes en rendimiento bajo, medio y alto, de acuerdo con el siguiente rango de clasificación: cuestionario CK (bajo= 0-17,5, medio= 18-33,5 y alto= 34-49) y cuestionario KSLD (bajo= 0-9, medio= 9,5-19,5 y alto= 20-28).

### Correlación de los datos

Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre los grupos de desempeño en CK y KSLD.

## Resultados y Discusión

### Confiabilidad de los instrumentos

A partir del coeficiente Alfa de Cronbach, se obtuvo una confiabilidad en los cuestionarios de CK=0,70 y de KSLD=0,79.

### Resultados y discusión del cuestionario CK

En la tabla 3 se presentan los resultados de las preguntas cerradas del cuestionario CK; y en la tabla 4, los obtenidos en las preguntas abiertas. A manera de ejemplo, en la pregunta 1 (P1), 111 docentes, (49,78 %) del total de docentes (223), respondieron correctamente esta pregunta. En la tabla 5 se registra el número de docentes agrupados en los niveles de desempeño bajo, medio y alto, de acuerdo con la puntuación que obtuvieron en este cuestionario.

**Tabla 3.** Tabulación de las respuestas a las preguntas (p) cerradas del cuestionario CK.

Respuestas	Pregunta									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Correctas	111,00	132,00	202,00	78,00	108,00	126,00	122,00	106,00	82,00	33,00
	49,78 %	59,19 %	90,58 %	34,98 %	48,43 %	56,50 %	54,71 %	47,53 %	36,77 %	14,80 %
Incorrectas	112,00	91,00	21,00	145,00	115,00	97,00	101,00	117,00	141,00	190,00
	50,22 %	40,81 %	9,42 %	65,02 %	51,57 %	43,50 %	45,29 %	52,47 %	63,23 %	85,20 %
Total	223	223	223	223	223	223	223	223	223	223

**Tabla 4.** Tabulación de las respuestas a las preguntas abiertas del cuestionario *ck*.

Nivel de conocimiento	Pregunta			
	P11	P12	P13	P14
Informado	143	178	92	12
	64,13 %	79,82 %	41,26 %	5,38 %
Mixto	54	40	105	34
	24,22 %	17,94 %	47,09 %	15,25 %
Ingenuo	26	5	26	177
	11,66 %	2,24 %	11,66 %	79,37 %
Total	223	223	223	223

**Tabla 5.** Niveles de rendimiento de los docentes en el cuestionario *ck*.

Desempeño	Número de docentes	%
Bajo	51	23
Medio	129	58
Alto	43	19

A partir de los resultados de las tablas 3 y 4, y de la agrupación de los docentes por niveles de desempeño (tabla 5), se detectó que la mayor parte de los docentes (58 %) se encontraron en un nivel medio en *ck*. Esto significa que presentan concepciones mixtas (ingenuas e informadas) sobre el *cc*. En este grupo se encontraron docentes que, a pesar de comprender las generalidades del *cc*, les faltó relacionar esta información con dinámicas específicas, como el impacto del *cc* en el equilibrio oceánico, los acuerdos internacionales sobre el tema, la comprensión de conceptos químicos en el sistema climático, las principales fuentes de *cc* en el contexto colombiano, las relaciones de la crisis climática con dinámicas económicas y sociales, como la ganadería y los problemas de salud en las personas.

En un segundo nivel de frecuencia se encontraron los docentes clasificados en el nivel bajo (23 %), quienes presentaron un conocimiento poco informado o ingenuo sobre el *cc*. Por el tipo de respuestas dadas, es posible considerar que su conocimiento del tema proviene generalmente de los mensajes transmitidos por los medios de comunicación. Estos mensajes suelen asociar la problemática con el aumento de la temperatura o la afectación de los glaciares (Gallego-Torres y Castro-Montaña, 2020; Molina *et al.*, 2016; Hurst y Walker, 2023). No se eviden-

ció un manejo de información científica en este grupo, y se presentaron confusiones entre conceptos como el clima y el tiempo atmosférico, así como entre el efecto invernadero y la capa de ozono. Un error conceptual que también se identificó en la investigación de Gulizia y Zazulie (2012).

Respecto al componente social, no se identificaron relaciones entre actividades económicas, como la ganadería, con la crisis climática. Además, no se comprende el impacto de la problemática en la salud de las personas ni hay una comprensión profunda de las medidas de mitigación y adaptación que la sociedad debe generar para hacer frente al problema. En conclusión, en este nivel de desempeño se encontraron los docentes que carecen de un conocimiento informado tanto en aspectos científicos como sociales sobre el tema.

En el caso de los docentes clasificados en el nivel de rendimiento alto (19 %) se puede afirmar que presentaron un conocimiento informado sobre el *cc*, tanto en aspectos científicos como sociales. En este nivel se encontraron, en su mayoría, los docentes que identificaron conceptos clave en la comprensión del tema, tales como el tiempo atmosférico, el clima, la capa de ozono, el efecto invernadero, los sumideros de carbono y la interacción del dióxido de carbono con el equilibrio oceánico. Asimismo, identificaron la relación del *cc* con el componente social en aspectos de política, economía y salud pública. El rendimiento de este grupo de docentes reflejó un conocimiento informado, que posiblemente surge del interés de actualizarse con fuentes de información confiables.

Los resultados en la distribución de las frecuencias en los niveles de *ck* son similares a lo detectado por Kaya *et al.* (2021) en un estudio sobre la identificación del *pcck* sobre lluvia ácida en un grupo de docentes en formación (73). Aunque el tópico de estudio no era de *cc*, los dos conceptos mantienen relación en cuanto al eje de estudio (equilibrio atmosférico). Asimismo, el grupo poblacional, en su mayoría, eran docentes de ciencias naturales; sin embargo, se resalta que en la investigación de los autores los participantes eran docentes en formación, respecto a lo cual las evidencias han indicado que una deficiencia en la comprensión conceptual es generalizada en los candidatos a maestros de ciencias (Grossman *et al.*, 2005; Newton y Newton, 2001).

Este hallazgo coincide con el estudio de alfabetización climática en la formación inicial de los docentes, realizado por Lopera y Villagrà (2020), quienes, al identificar los conocimientos y actitudes sobre el *cc* en docentes en formación, encontraron que no hay evidencia de con-

cepciones que involucren el pensamiento sistémico de las interacciones entre los sistemas climáticos.

La concepción reduccionista del cc identificado en los docentes con ck bajo es coherente con lo detectado en la caracterización del conocimiento disciplinar en cc en docentes en ejercicio en el contexto colombiano, realizada por Quiroga (2018), en la que se encontró que estos asocian el concepto exclusivamente con el aumento de temperatura, considerando que las emisiones de dióxido de carbono son la principal causa de este fenómeno. Además, se encontró que un grupo importante de docentes relaciona los impactos del cc con contextos lejanos, como los polos.

Se esperaría que los profesores en ejercicio presenten mejores niveles de conocimiento en temas de interés global, como el cc, dada la relevancia del contenido en la actualidad y la amplitud de fuentes de información científica sobre el tema que les permite mejorar su saber pedagógico (Fretz, 2016; Betul y Karisan, 2022). No obstante, ante todo, la misma experiencia en el aula de un docente en ejercicio en comparación con la de uno en formación debería ser un factor que diferencie los resultados entre estos dos grupos poblacionales.

Teed y Franco (2014) implementaron un programa dirigido a docentes en ejercicio con el objetivo de mejorar su PCK en cc. Este programa consistió en un curso de verano sobre el tema, el cual se complementó con estrategias de mentoría en el aula. Se realizó un pre-test y post-test, en los que se observó que el puntaje promedio de ck sobre cc aumentó del 38,1 % al 75,6 %, y los puntajes de los estudiantes mostraron ganancias normalizadas, que variaron del 16 % al 88 %. Estudios similares realizados por Clausen (2018) y Favier *et al.* (2021) sobre PCK

en cc, y por Kadji *et al.* (2013) sobre contenidos de EDS, también revelaron un aumento del PCK de los docentes, después de participar en cursos que combinaban experiencias prácticas y teóricas con estrategias de mentoría.

En este sentido, las estrategias de desarrollo profesional docente, como los cursos en tópicos específicos y la mentoría, pueden contribuir a superar un ck débil de los docentes e impactar significativamente en el aprendizaje de los estudiantes. Lo anterior es particularmente importante en contenidos como el cc, que, debido a su complejidad y nivel de abstracción, requiere de un dominio conceptual de los docentes (Favier *et al.*, 2021).

Si bien la mayoría de los docentes se encontraron clasificados en el nivel medio de desempeño (58 %), es necesario avanzar en el conocimiento de la materia para generar impactos significativos en los procesos de enseñanza-aprendizaje relacionados con la E.A que, al mismo tiempo, incidan en la transformación de actitudes y hábitos en torno al cc.

## Resultados y discusión del cuestionario KSLD

En la tabla 6 se presentan los resultados de las preguntas del cuestionario KSLD. A manera de ejemplo, en la pregunta 1 (P1) de la viñeta I, 54 docentes (24,22 %) del total de docentes (223) demostraron un conocimiento informado, 83 un conocimiento mixto y 86 un conocimiento ingenuo. En la tabla 7 se registra el número de docentes agrupados en los niveles de desempeño bajo, medio y alto, de acuerdo con la puntuación que obtuvieron en este cuestionario.

**Tabla 6.** Tabulación de los resultados obtenidos del cuestionario KSLD.

Nivel de conocimiento	Viñeta I		Viñeta II		Viñeta III		Viñeta IV	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Informado	54	77	33	22	35	72	64	98
	24,22 %	34,53 %	14,80 %	9,87 %	15,70 %	32,29 %	28,70 %	43,95 %
Mixto	83	130	75	90	91	113	101	103
	37,22 %	58,30 %	33,63 %	40,36 %	40,81 %	50,67 %	45,29 %	46,19 %
Ingenuo	86	16	115	111	97	38	58	22
	38,57 %	7,17 %	51,57 %	49,78 %	43,50 %	17,04 %	26,01 %	9,87 %
Total	223	223	223	223	223	223	223	223

**Tabla 7.** Niveles de rendimiento de los docentes en el cuestionario KSLD.

Desempeño	Número de docentes	%
Bajo	105	47
Medio	97	43.5
Alto	21	9.5

Los resultados obtenidos del cuestionario KSLD registrados en la tabla 6 y la agrupación de los docentes por niveles de desempeño (tabla 7) evidencian que la mayor parte de ellos presentaron un desempeño bajo (47 %), seguido del desempeño medio (43,5 %) y, en menor medida, el desempeño alto (9,5 %). Es notorio un mejor desempeño de los docentes en CK. Por lo tanto, es factible considerar que los docentes presentaron mejores nociones conceptuales sobre el CC, en comparación con el conocimiento pedagógico que se requiere para enseñar a los estudiantes los conceptos asociados al tema.

Lo anterior se evidenció en el nivel de complejidad de las respuestas de los docentes al identificar las dificultades de aprendizaje en cada una de las situaciones problemáticas del cuestionario, al plantear estrategias pedagógicas para enseñar el tema y al analizar la información obtenida de estudios de caso sobre la enseñanza de este contenido.

Estos resultados coinciden con el estudio de Kaya *et al.* (2021), en el cual se analizó el KSLD de docentes en formación con relación al tópico de lluvia ácida. Los autores señalan la importancia de comprender las dificultades de aprendizaje de los estudiantes como vía para desarrollar el PCK y, al mismo tiempo, de incidir en el aprendizaje de los estudiantes. Asimismo, Shulman (1986) presentó uno de los primeros estudios sobre la importancia del conocimiento pedagógico de los docentes para enseñar un contenido en particular, el cual difiere de su conocimiento disciplinar. En el ámbito de la enseñanza no basta con dominar un concepto disciplinar, sino que es relevante saber emplearlo para los fines del aprendizaje, por medio de estrategias instruccionales, representaciones, recursos educativos y analogías. El autor plantea que el CK es determinante en el desarrollo del KSLD.

Un entendimiento por parte del docente de las dificultades de aprendizaje de los estudiantes sobre un tópico en particular le permite direccionar las estrategias instruccionales para generar un cambio conceptual en los estudiantes. Favier *et al.* (2021), en una investigación sobre PCK en CC, plantean que el conocimiento de las preconcepciones de los estudiantes por parte de los

docentes es fundamental para la implementación de estrategias instruccionales. De acuerdo con Park (2019) y Wilson (2019), en la actualidad son diversas las investigaciones que ubican al KSLD como puente entre el CK y el PCK, de manera tal que contribuye a estructurar los otros componentes del CK, tales como el conocimiento de las estrategias instruccionales y el conocimiento evaluativo.

A partir de lo anterior, y a la luz de los resultados obtenidos en la presente investigación, se considera que el conocimiento pedagógico de los docentes de E.A, representado aquí en el KSLD, para enseñar el tema de CC es incipiente o débil. Esto puede influir en procesos de enseñanza-aprendizaje que no fomenten un conocimiento crítico y reflexivo ni una perspectiva compleja de los estudiantes sobre el tema. Según Kim (2020), el desarrollo del PCK se ve reflejado en la capacidad de respuesta de los docentes a las ideas de los estudiantes. Además, El KSLD es fundamental para reflexionar sobre la práctica pedagógica propia del docente y para guiar el aprendizaje de los estudiantes (Lertdechapat y Faikhanta, 2021; Mavhunga, 2019; Zhou *et al.*, 2016).

Los resultados indican que la mayoría de los docentes (47 %) (ver tabla 7) presentaron un bajo desempeño en PCK, reflejado en la dificultad para identificar errores conceptuales de los estudiantes, en la interpretación de sus concepciones previas sobre el tema y en el desarrollo de las estrategias instruccionales. Por lo tanto, muchas de las estrategias pedagógicas propuestas por los docentes no surgieron de un análisis crítico de las concepciones previas de los estudiantes sobre el tema, sino más bien de sus propias creencias sobre la forma en que se debe enseñar este contenido.

Particularmente, en la viñeta I (tabla 6), en la cual se presentaron las ideas previas de un grupo de estudiantes sobre el cambio del uso del suelo y su relación con el CC, los resultados mostraron que el 38 % de los docentes fueron clasificados en un conocimiento ingenuo. Estos propusieron estrategias pedagógicas de corte reduccionista, generalmente asociadas a la realización de experimentos en la clase de ciencias naturales, o de corte transmisionista, como las explicaciones magistrales, la proyección de videos, la realización de maquetas y de carteleras o el desarrollo de guías de trabajo en el aula. Estas estrategias, a pesar de tener su valor pedagógico, no entrañan la complejidad del tema de estudio y muy pocas veces abordan la interacción del componente social con la afectación de los sistemas naturales.

Según Mora (2011), este tipo de estrategias hacen parte de un modelo didáctico tradicional en E.A, en el que se privilegia la transmisión de información de *verdades*

acabadas de los expertos a los aprendices, esperando con ello modificar actitudes y adquirir hábitos proambientales, sin un ejercicio reflexivo por parte de los que aprenden. Cabe señalar lo mencionado por García (2004) al respecto: “las actuaciones que desarrollan las personas vinculadas a la educación ambiental responden más a unos estereotipos, rutinas y lugares comunes que a propuestas didácticas serias y fundamentadas” (p. 90).

Por otra parte, la mayoría de los docentes ubicados en un nivel de rendimiento alto (35 %) propusieron estrategias pedagógicas que promueven la reflexión crítica de los estudiantes sobre el tema. Priorizan un enfoque constructivista del conocimiento por encima de la transmisión de información y conciben el cc desde la relación entre sociedad-naturaleza. Estas son características importantes en la enseñanza de este tipo de contenidos y en la formación de ciudadanos competentes para enfrentar los desafíos ambientales (Clausen, 2018; Ernst, 2018; Favier *et al.*, 2021; Zhou, 2015).

A manera de ejemplo, en este nivel de desempeño, los docentes en la viñeta I mencionaron estrategias, tales como historias de vida de personas afectadas por la crisis climática, el análisis de ciclo de vida de productos alimenticios que provienen de monocultivos, el juego de roles en torno a la deforestación de los bosques y su impacto en el desplazamiento de las comunidades, la línea de tiempo para identificar las transformaciones en el territorio, entre otras estrategias que dan cuenta de una comprensión sistémica de la problemática y de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

### Correlación entre los resultados de los cuestionarios CK y KSLD

En la tabla 8 se presentan los resultados de la correlación entre los niveles de desempeño de cada uno de los cuestionarios. Por ejemplo, en el cuestionario CK, 43 docentes se encontraron en desempeño alto, de los cuales 10 tuvieron un desempeño alto en el cuestionario KSLD; 26, desempeño medio; y 7, desempeño bajo.

**Tabla 8.** Correlación de los resultados obtenidos en los cuestionarios CK y KSLD.

CK	DESEMPEÑO	KSLD		
		ALTO = 21	MEDIO = 97	BAJO = 105
	ALTO=43	10	26	7
	MEDIO=129	9	64	56
	BAJO=51	2	7	42

Una vez se correlacionaron los grupos entre cada uno de los cuestionarios, se procedió a calcular el coeficiente de correlación de Pearson, el cual fue de 0,55 ( $p = 0,000$ ). En este sentido, la correlación obtenida entre el nivel del CK y KSLD fue positiva media, según el rango de interpretación mencionado por Hernández-Sampieri *et al.* (2014) para este coeficiente.

Los resultados coinciden con lo detectado en la investigación de Kaya *et al.* (2021), en la cual se observó un coeficiente de correlación entre CK y KSLD para el tópico de lluvia ácida de  $r = 0,560$ ,  $p = 0,000$ . En ambos casos, la correlación fue positiva moderada. Según la tabla 8, los docentes agrupados en el nivel de rendimiento alto en CK (43) mostraron, en su mayoría, un rendimiento medio en KSLD (26), seguido por un rendimiento alto (10) y un rendimiento bajo (7). Se observa una similitud en el nivel medio de CK, en el que los docentes clasificados en este nivel (129), la mayoría (64) también tuvo un rendimiento medio en KSLD. En el caso del rendimiento bajo, los resultados son aún más evidentes, ya que los docentes agrupados en este nivel, para CK (51), la mayoría de ellos también mostró un rendimiento bajo en KSLD (42).

Con lo anterior, es posible inferir que el CK que presentaron los docentes sobre CC influye en su nivel de conocimiento sobre el KSLD, y con ello en su conocimiento pedagógico sobre el tema. Es decir, a los docentes que presentaron un CK débil les costó trabajo identificar e interpretar las dificultades de aprendizaje de los estudiantes y, por consiguiente, dirigir estrategias pedagógicas pertinentes para generar un cambio conceptual de los estudiantes sobre el tema.

Este hallazgo también concuerda con lo planteado por Daehler *et al.* (2015), quienes consideran que los maestros que tienen un CK débil luchan para identificar conceptos erróneos en el trabajo de los estudiantes. Los autores plantean que las debilidades en CK y KSLD en un tópico determinado limitan las habilidades de los docentes para diseñar e implementar estrategias instruccionales con los estudiantes. Asimismo, Chan y Yung (2018) encontraron que la conexión entre CK y KSLD les permite a los profesores hacer conjeturas respecto a las dificultades de aprendizaje de los estudiantes. Esto, a su vez, les posibilita formular estrategias instruccionales correspondientes para hacer frente a las ideas alternativas de los estudiantes.

### Conclusiones

A partir de los resultados del cuestionario de CK se hace evidente la necesidad de avanzar en la profundización de los conceptos asociados al CC. Aunque

la mayoría de los docentes fueron clasificados en un nivel medio de desempeño (58 %), es importante profundizar el conocimiento de la materia para lograr impactos significativos en los procesos de enseñanza-aprendizaje en E.A, que, al mismo tiempo, promuevan la adopción de actitudes y hábitos proambientales en los estudiantes.

Respecto al cuestionario de KSLD, los resultados evidencian que la mayor parte de los docentes presentaron un desempeño bajo (47 %). Así mismo, es evidente que los docentes obtuvieron mejores resultados en el cuestionario de CK; por lo tanto, se concluye que los profesores presentaron mejores nociones conceptuales sobre el CC, en comparación con el conocimiento pedagógico que se requiere para enseñar el tema. Lo anterior se demostró en la dificultad de los docentes para identificar los errores conceptuales más frecuentes sobre el CC en los estudiantes y para proponer estrategias pedagógicas orientadas a la construcción de conocimiento crítico y reflexivo en ellos.

La mayoría de las estrategias pedagógicas propuestas por los docentes, en torno al CC, fueron de corte transmisionista y tradicionalista, las cuales, a pesar de tener su valor pedagógico, no entrañan la complejidad de la problemática, desde la interacción sociedad-naturaleza, ni promueven sustancialmente el aprendizaje de los estudiantes.

Finalmente, se encontró una correlación positiva moderada entre los resultados del cuestionario CK y KSLD. Por lo tanto, es posible inferir que el CK que presentan los docentes sobre CC influye en su KSLD, y, con ello, en su conocimiento pedagógico sobre el tema. A los docentes que presentaron un CK débil les costó trabajo identificar e interpretar las dificultades de aprendizaje de los estudiantes y, por consiguiente, plantear estrategias pedagógicas pertinentes para abordarlas.

Lo anterior devela la importancia de impulsar desde el sistema educativo de Bogotá procesos de desarrollo profesional en los docentes de educación ambiental, que contribuyan a generar conocimiento reflexivo sobre la práctica educativa y fomentar procesos de enseñanza-aprendizaje acordes a la complejidad de los desafíos ambientales de la actualidad. Una posible vía para desarrollar el PCK de los docentes, y con ello impactar el aprendizaje de los estudiantes, se encuentra en estrategias como los cursos con experiencias prácticas y teóricas de enseñanza, acompañados de un proceso de mentoría en el aula, tal como lo sugiere la bibliografía consultada.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad del Rosario, especialmente al Dr. Benjamín Quesada por el apoyo logístico y científico en el desarrollo de la investigación, y a la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, por el apoyo financiero.

## Referencias

- Alape Sánchez, D. E. y Rivera Téllez, M. (2016). *Diagnóstico de los proyectos ambientales escolares (PRAE) en colegios oficiales de Bucaramanga* [Tesis de maestría, Universidad Santo Tomás]. CRAIUSTA Centro de recursos para el aprendizaje y la investigación. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/1730>
- Betul Cebesoy, U. y Karisan, D. (2022). Teaching the role of forests in mitigating the effects of climate change using outdoor educational workshop. *Research in Science & Technological Education*, 40(3), 340-362. <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1799777>
- Burgos Ayala, A. (2017). Estado de los proyectos ambientales escolares en Boyacá. *Luna Azul*, (44), 39-58. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.4>
- Bustamante Gazabón, N. D., Cruz Barrios, M. I. y Vergara Rivera, C. (2017). Proyectos ambientales escolares y cultura ambiental en la comunidad estudiantil de las instituciones educativas de Sincelejo, Colombia. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 9(1), 215-229. <https://doi.org/10.22335/rict.v9i1.411>
- Carlson, J. y Daehler, K. R. (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* (pp. 77-92). Springer.
- Chan, K. K. H. y Yung, B. H. W. (2018). Developing pedagogical content knowledge for teaching a new topic: more than teaching experience and subject matter knowledge. *Research in Science Education*, 48(2), 233-265. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9567-1>
- Clausen, S. W. (2018). Exploring the pedagogical content knowledge of Danish geography teachers: Teaching weather formation and climate change. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 27(3), 267-280. <https://doi.org/10.1080/10382046.2017.1349376>

- Daehler, K. R., Heller, J. I. y Wong, N. (2015). Supporting growth of pedagogical content knowledge in science. En A. Berry, P. Friedrichsen y J. Loughran (Eds.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 45-59). Routledge.
- Duarte Díaz, J. J. (2020). *Caracterización del conocimiento didáctico del contenido sobre educación ambiental de profesores de Bogotá, Colombia* [Tesis doctoral, Universidad Pedagógica Nacional]. Repositorio institucional UPN. <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/11918>
- Fretz, E. J. (Ed.). (2016). *Climate Change Across the Curriculum*. Lexington Books.
- Ernst, J. y Erickson, D. M. (2018). Environmental education professional development for teachers: A study of the impact and influence of mentoring. *Journal of Environmental Education*, 49(5), 357-374. <https://doi.org/10.1080/00958964.2018.1451813>
- Favier, T., Van Gorp, B., Cyvin, J. B. y Cyvin, J. (2021). Learning to teach climate change: Students in teacher training and their progression in pedagogical content knowledge. *Journal of Geography in Higher Education*, 45(4), 594-620. <https://doi.org/10.1080/03098265.2021.1900080>
- Gallego Torres, A. y Castro-Montaña, J. (2020). Estudio de las representaciones sociales de los docentes sobre el cambio climático antropogénico. *Revista científica*, (38), 229-242. <https://doi.org/10.14483/23448350.16190>
- García, J. E. (2004). *Educación Ambiental, Constructivismo y Complejidad*. Diada Editorial S.L.
- González Gaudiano, E. (2007). Educación y cambio climático: un desafío inexorable. *Trayectorias*, IX(25), 33-44.
- González Gaudiano, E. J. y Meira Cartea, P. Á. (2020). Educación para el cambio climático: ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles educativos*, 42(168), 157-174. <https://doi.org/10.22201/issue.24486167e.2020.168.59464>
- Grossman, P. L. (1990). *The Making of a Teacher: Teacher Knowledge and Teacher Education*. Teachers College Press.
- Grossman, P. L., Wilson, S. M. y Shulman, L. S. (2005). Profesores de sustancia: el conocimiento de la materia para enseñanza. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 9(2), 1-24.
- Gulizia, C. y Zazulie, N. (26-28 de septiembre de 2012). Ideas previas en el aprendizaje del efecto invernadero y el calentamiento global en estudiantes universitarios de Ciencias Exactas y Naturales. *Memoria Académica. III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*. [chrome-extension://efaidnbnmnnibpcapjcgclclefindmkaj/https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab\\_eventos/ev.3681/ev.3681.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnnibpcapjcgclclefindmkaj/https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.3681/ev.3681.pdf)
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill / Interamericana editores.
- Hurst Loo, A. M. y Walker, B. R. (2023). Climate change knowledge influences attitude to mitigation via efficacy beliefs. *Risk Analysis*, 43(6), 1162-1173. <https://doi.org/10.1111/risa.14026>
- Jie, C., Monroe, M. C., Oxarart, A. y Ritchie, T. (2021). Building teachers' self-efficacy in teaching about climate change through educative curriculum and professional development. *Applied Environmental Education & Communication*, 20(1), 34-48. <https://doi.org/10.1080/1533015X.2019.1617806>
- Kadji, C., Zachariou, A., Liarakou, G. y Flogaitis, E. (2013). Mentoring as a strategy for empowering Education for Sustainable Development in schools. *Professional Development in Education*, 40, 717-739. <https://doi.org/10.1080/19415257.2013.835276>
- Katsenou, C., Flogaitis, E. y Liarakou, G. (2013). Exploring pupil participation within a sustainable school. *Cambridge Journal of Education*, 43(2), 243-258. <https://doi.org/10.1080/0305764X.2013.774320>
- Kaya, Z., Kaya, O. N., Aydemir, S. y Ebenezer, J. (2021). Knowledge of Student Learning Difficulties as a Plausible Conceptual Change Pathway Between Content Knowledge and Pedagogical Content Knowledge. *Research in Science Education*, 52(2), 691-723. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09971-5>
- Kim, J. (2020). *Connecting pedagogical content knowledge (pck) to teaching practice: investigating physics teachers' enacted pck, personal pck, and engagement with student ideas in classroom discussions* [Tesis de doctorado, Michigan State University]. MSU Libraries Digital Repository. <https://d.lib.msu.edu/etd/49466>
- Lertdechapat, K. y Faikhamta, C. (2021). Enhancing pedagogical content knowledge for STEM

- teaching of teacher candidates through lesson study. *International Journal for Lesson & Learning Studies*, 10(4), 331-347. <https://doi.org/10.1108/IJLLS-03-2021-0020>
- Lopera Pérez, M. y Villagrà Sobrino, S. L. (2020). Alfabetización climática en la formación inicial y continua de docentes. *Uni-pluriversidad*, 20(1), 81-99. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.20.1.05>
- Marcelo, C. (1993). Cómo conocen los profesores la materia que enseñan. Algunas contribuciones de la investigación sobre Conocimiento Didáctico del Contenido. En L. Montero y J. M. Vez (Eds.), *Las didácticas específicas en la formación del Profesorado (I)* (151-185). Tórculo.
- Mavhunga, E. (2019). Exposing pathways for developing teacher pedagogical content knowledge at the topic level in science. En A. Hume, R. Cooper y A. Borowski (Eds.), *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science* (pp. 129-148). Springer.
- Molina, E. C., González, A. L. M. y Gaudiano, E. G. (2016). Construcción de conocimiento y creencias epistemológicas sobre cambio climático en docentes de nivel primaria. De la vulnerabilidad a la resiliencia. *Revista Interamericana de Educación de Adultos*, 38(2), 52-76.
- Monje Alvarez, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica*. Universidad Surcolombiana.
- Mora, W. (2011). *La inclusión de la dimensión ambiental en la educación superior: un estudio de caso en la Facultad de Medio Ambiente de la Universidad Distrital en Bogotá* [Tesis de doctorado, Universidad de Sevilla]. Depósito de Investigación, Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/72753>
- Newton, D. P. y Newton, L. D. (2001). Subject content knowledge and teacher talk in the primary science classroom. *European Journal of Teacher Education*, 24(3), 369-379. <https://doi.org/10.1080/02619760220128914>
- Parga, D. L. y Mora, W. M. (2016). Didáctica ambiental y conocimiento didáctico del contenido en química. *Indagatio Didactica*, 8(1), 777-792.
- Parga D. L. y Mora W. M. (2014). El pck, un espacio de diversidad teórica: Conceptos y experiencias unificadoras en relación con la didáctica de los contenidos en química. *Educación Química*, 25(3), 332-342. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70549-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70549-X)
- Park, S. (2019). Reconciliation between the refined consensus model of PCK and extant PCK models for advancing PCK research in science. En A. Hume, R. Cooper y A. Borowski (Eds.), *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science* (pp. 117-128). Springer.
- Quiroga, S. (2018). *Conocimiento Didáctico del Contenido (cdc) del cambio climático: una caracterización en torno al diseño y desarrollo profesional de docentes en ejercicio* [Tesis de maestría, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio institucional Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14320>
- Sauvé, L. (1999). La educación ambiental entre la modernidad y la posmodernidad: En busca de un marco de referencia educativo integrador. *Tópicos*, 1(2), 7-27.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Teed, R. y Franco, S. (2014). Increasing Teachers' Confidence and Pedagogical Content Knowledge through a Workshop and Follow-Up Program on Climate Change. *Journal of Geoscience Education*, 62(4), 587-597. <https://doi.org/10.5408/13-039.1>
- Wilson, C. D., Borowski, A. y Van Driel, J. (2019). Perspectives on the future of PCK research in science education and beyond. En A. Hume, R. Cooper y A. Borowski (Eds.), *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science* (pp. 289-300). Springer.
- Zhou, G. (2015). Environmental Pedagogical Content Knowledge: A Conceptual Framework for Teacher Knowledge and Development. En S. Stratton, R. Hagavik, A. Feldman y M. Bloom (Eds.), *Educating Science Teachers for Sustainability* (185-203). Springer.
- Zhou, S., Zhang, C. y Wang, Y. (2016). Pre-service science teachers' PCK: Inconsistency of pre-service teachers' predictions and student learning difficulties in Newton's third law. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(3), 373-385. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1203a>