



## **Pensamiento científico y pensamiento crítico: competencias transversales para aprender**

### **Scientific thinking and critical thinking: transversal competences for learning**

**María Antonia Manassero-Mas**  
Universidad de las Islas Baleares  
ma.manassero@uib.es  
<http://orcid.org/0000-0002-7804-7779>

**Ángel Vázquez-Alonso**  
Universidad de las Islas Baleares  
angel.vazquez@uib.es  
<http://orcid.org/0000-0001-5830-7062>

#### **Resumo:**

O pensamento científico surge na educação científica principalmente a partir das contribuições da abordagem ciência-tecnologia-sociedade-ambiente à educação científica, que tenta promover o conhecimento epistêmico sobre a prática científica. Por outro lado, o pensamento crítico surge dentro da estrutura da filosofia, mas nas últimas décadas a psicologia cognitiva contribui para o seu desenvolvimento principal. Em trabalhos anteriores, ambos os conceitos foram desenvolvidos e especificados em duas taxonomias que ajudam a categorizá-los e esclarecê-los; O pensamento científico se desenvolve em um decálogo de aspectos e habilidades, e o pensamento crítico desenvolve quatro dimensões: criatividade, raciocínio, procesos complexos (resolução de problemas e tomada de decisão) e avaliação. Este artigo elabora os dois conceitos, a partir da comparação do conteúdo de cada um deles, para demonstrar sua profunda semelhança e as relações mútuas que os unem, apesar de terem sido gerados em diferentes tradições de pesquisa e se expressarem com formalismos e linguagens técnicas diferentes. Como consequência dessa semelhança, o entendimento de conceitos e seu desenvolvimento como competências transversais de aprendizagem são aprofundados e esclarecidos, a fim de melhorar sua implementação na pesquisa e no ensino geral e científico dos professores. Em conclusão da semelhança mútua e da natureza transversal de ambos, argumenta-se que o pensamento crítico contribui para melhorar a educação científica e vice-versa, o desenvolvimento do pensamento científico também contribui para as habilidades de pensamento crítico, e ambos melhoram a aprendizagem de uma perspectiva de competência.

**Palavras-chave:** pensamento científico; pensamento crítico; educação científica; aprendizagem por competência.



**Abstract:**

Scientific thinking arises in science education mainly from the contributions of the science-technology-society-environment approach to science education, which aims to promote epistemic knowledge about scientific practice. On the other hand, critical thinking arises within the framework of philosophy, but cognitive psychology contributes to its main development in recent decades. In previous works, both concepts have been developed and specified along two taxonomies that help to categorize and clarify them; scientific thinking develops along a decalogue of aspects and skills, and critical thinking develops four dimensions: creativity, reasoning, complex processes (problem solving and decision-making) and evaluation. This communication elaborates both concepts, from the careful comparison of their specific contents, to demonstrate their deep similarity and the mutual relationships that connect them, despite they had been generated in different research traditions and expressing themselves with different technical formalisms and languages. As a consequence of the similarity, the understanding of both concepts and their development as transversal learning competencies are deepened and clarified, in order to improve their implementation in research and in general and science education by teachers. As a conclusion of the mutual similarity and the transversal nature of both concepts, it is claimed that critical thinking contributes to improve scientific education and vice versa, the development of scientific thinking also contributes to critical thinking skills, and both improve learning from a competency perspective.

**Keywords:** Scientific thought; critical thinking; scientific education; competence learning.

**Resumen:**

El pensamiento científico surge en la educación científica principalmente a partir de las contribuciones del enfoque ciencia-tecnología-sociedad-ambiente en la educación científica, que trata de promover el conocimiento epistémico acerca de la práctica científica. Por otro lado, el pensamiento crítico surge en el marco de la filosofía, pero en las últimas décadas la psicología cognitiva contribuye a su desarrollo principal. En trabajos previos, ambos conceptos se han desarrollado y concretado en sendas taxonomías que contribuyen a categorizarlos y clarificarlos; el pensamiento científico se desarrolla en un decálogo de aspectos y destrezas, y el pensamiento crítico desarrolla cuatro dimensiones: creatividad, razonamiento, procesos complejos (resolución de problemas y toma de decisiones) y evaluación. Este artículo elabora ambos conceptos, a partir de la comparación de los contenidos de cada uno de ellos, para demostrar su profunda semejanza y las relaciones mutuas que los unen, a pesar de haber sido generados en tradiciones de investigación diferentes y expresarse con formalismos y lenguajes técnicos distintos. Como consecuencia de esta semejanza, se profundiza y clarifica la comprensión de ambos conceptos y su desarrollo como competencias transversales del aprendizaje, con el fin de mejorar su implementación en la investigación y en la educación general y científica por los docentes. Como conclusión de la semejanza mutua y el carácter transversal de ambos se sostiene que el pensamiento crítico contribuye a mejorar la educación científica y viceversa, el desarrollo del pensamiento científico contribuye también a las destrezas de pensamiento crítico, y ambos mejoran los aprendizajes desde una perspectiva competencial.

**Palabras clave:** pensamiento científico; pensamiento crítico; educación científica; aprendizaje competencial.



## Introducción

Una amplia literatura sobre naturaleza de la ciencia (NdC), cuestiones socio-científicas (CSC), argumentación, meta-cognición, reflexión y procesos de la ciencia, cruciales en la educación CTS, presentan a menudo un conjunto de habilidades propias de la práctica científica, referidas como pensamiento o razonamiento científico (PCF). Por citar algunas a modo introductorio, observación, clasificación, creación y verificación de hipótesis, control de variables, identificación de pruebas, comunicar información, elaboración de explicaciones, teorías y modelos, etc.

Por otro lado, el constructo pensamiento crítico (PCR) ha sido la bandera de la filosofía desde su nacimiento, pero se ha desarrollado cognitivamente en el marco de la psicología. El PCR está formado por habilidades de pensamiento de orden superior, tales como resolución de problemas, toma de decisiones, argumentación, creatividad o razonamiento.

Hoy, el PCR se ha convertido en un objetivo central de la educación general del siglo XXI, por representar competencias que se consideran transversales y funcionales para la vida personal, social y laboral.

Una mirada conjunta a ambos conceptos desde la educación CTS y la didáctica de la ciencia, por un lado, y la psicología y educación general, por otro, sugiere la hipótesis de una potencial convergencia entre ellos, aunque el vocabulario diferenciado de ambas tradiciones de investigación ha contribuido a considerarlos como elementos diferentes. El objetivo de este estudio es poner de manifiesto esta convergencia a través de un análisis cualitativo y crítico de sus contenidos.

## Contextualización teórica

Se presentan los principales hitos de las dos tradiciones de investigación que se analizan y comparan, a saber, la tradición del PCF y la tradición del PCR.

### El pensamiento científico en la tradición de investigación CTS

La conceptualización del pensamiento científico (PCF) se inicia en la segunda mitad del siglo XX a partir del giro naturalista en la filosofía de la ciencia y el comienzo del movimiento ciencia-tecnología-sociedad (CTS); en su versión educativa, innova la educación científica con la inclusión en el currículo escolar de contenidos relativos a cómo la ciencia colabora con la tecnología para validar el conocimiento o intervenir en el mundo. Así, en los años finales del siglo XX surgen dos líneas de investigación claves, la NdC y las CSC, junto con la problemática ambiental (que tiene un estatus transversal), y cuyo desarrollo permite alumbrar el concepto más generativo de alfabetización científica y tecnológica para todos (Vesterinen, Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2014).

La alfabetización científica está formada por dos componentes universales, que resultan complementarios e interactivos (Roberts, 2007):



- Visión I: conocimientos de conceptos tradicionales de la ciencia (leyes, modelos, teorías y procesos).
- Visión II: conocimientos acerca de la ciencia (naturaleza de la ciencia, conocimiento epistémico y social), con capacidad de transferencia a la toma de decisiones informadas en la vida personal y social.

Para los propósitos de este estudio se considera PCF el conjunto de conocimientos, destrezas, habilidades, valores, actitudes, normas, conductas etc. empleadas en la práctica científica para validar conocimiento o intervenir en el mundo. Una extensa literatura sobre historia, filosofía, sociología (CSC), naturaleza de la ciencia, argumentación, meta-cognición, reflexión y procesos de la ciencia han contribuido al desarrollo de ese amplio y multiforme conjunto de habilidades y valores involucrados en las prácticas científicas (aunque no siempre se use explícitamente el concepto de PCF).

Como antídoto clarificador contra pseudociencias, paraciencias y otras falsificaciones, Bunge (1991) propuso una definición de ciencia formada por un conjunto de criterios que constituyen una guía del PCF: (i) comunidad de investigación activa; ii) sociedad sustentadora; (iii) entidades reales del mundo natural; (iv) perspectiva filosófica (ontología, epistemología realista, ethos); (v) base formal (teorías matemáticas y lógicas actualizadas); (vi) cuerpo específico actual (colección de datos, hipótesis y teorías confirmados, aunque corregibles, y de métodos de investigación); (vii) los problemas cognitivos; (viii) cuerpo de conocimientos de épocas anteriores; (ix) objetivos de los miembros de la comunidad; (x) procedimientos y métodos (revisables, analizables, criticables, justificables, explicables); (xi) campos de investigación científica contiguos; (xii) los conocimientos anteriores cambian en el tiempo. Según Bunge, los anteriores criterios reflejan la esencia de cualquier ciencia factual: si una disciplina no los satisface, no es científica; si los satisface aproximadamente, sería una proto-ciencia.

El PCF es un constructo complejo, cuya conceptualización no tiene una visión uniforme y coherente en la literatura de investigación hoy. Zimmerman (2007) define el razonamiento científico como el conjunto de habilidades involucradas en indagación, experimentación, evaluación de la evidencia e inferencia, que incluye tanto conocimiento conceptual como procesos cognitivos (por ejemplo, procesos inductivos para la generación de hipótesis, procesos deductivos para la verificación de hipótesis y procesos de evaluación). Estos elementos mantienen una interrelación y dependencia mutua (por ejemplo, las estrategias de experimentación se seleccionan con base en el conocimiento del dominio). Además, pueden ser generales o específicos de cada dominio o disciplina; la controversia sobre la naturaleza general o específica de las destrezas científicas es compartida también por las destrezas de PCR (punto en común).

Algunos autores prefieren el término PCF para etiquetar las habilidades de pensamiento involucradas en la práctica científica. Kuhn (2002) integra el conjunto de habilidades (búsqueda de conocimiento, inferencias causales, control de variables, deducción, validación de conocimiento, etc.) en un marco que subraya sobre todo la coordinación de la teoría y la evidencia para buscar, entender, interpretar, representar, validar y explicar el conocimiento. Este enfoque tiene varias implicaciones, tales como cuestionar las teorías y conocimientos previos, buscar evidencia



contradictoria (falsacionismo de Popper), eliminar y revisar las explicaciones alternativas previas con evidencia contradictoria y comprender profundamente los fundamentos epistemológicos de la ciencia (Kuhn, 2002; Faye, 2014).

Otros autores destacan los componentes epistémicos del PCF. En particular, la evaluación de inferencias basadas en pruebas implica una cognición epistémica, que Moshman (2015) define como el subconjunto de la meta-cognición acerca de la justificación, la verdad y las formas asociadas de razonamiento. Greenhoot, Semb, Colombo y Schreiber (2004) destacan además conceptos metodológicos fundamentales como el razonamiento causal y el distanciamiento meta-cognitivo (capacidad de razonar independientemente de conocimientos previos). Esta visión añade otras destrezas, como reconocer que el conocimiento científico es construido, en lugar de simplemente descubierto, que la argumentación experta va dirigida también a la coordinación de teoría y evidencia, e implica las habilidades de generar y evaluar inferencias basadas en evidencia, junto con la evaluación epistemológica de las funciones de evidencia y teoría (Ding, Wei y Liu, 2016).

Faye (2014) describe la naturaleza del PCF como una forma de entender y explicar el mundo con base en un conjunto de creencias organizadas, inteligibles y encarnadas en la realidad. Los rasgos esenciales de este pensamiento serían la interpretación (referida tanto al descubrimiento de hipótesis científicas como a la construcción de conceptos científicos), la representación y los modelos (puntos centrales de la explicación científica), las explicaciones causales (funcionales y evolutivas), la argumentación (como respuesta a preguntas) y el carácter dual de la ciencia, a la vez, plural (dependiente del contexto o dominio-específico) y unitario (independiente del contexto o dominio general). Dunbar y Klahr (2012) sistematizan así las cogniciones genuinas del PCF: resolución de problemas, verificación de hipótesis, búsqueda de causas, razonamientos inductivos, deductivos y abductivos, modelos y analogías y cambio conceptual.

Kind (2013) analiza la historia del razonamiento científico para concluir que implica tres tipos de conocimientos: factuales, procedimentales y epistémicos. Además, Kind y Osborne (2016) consideran que la falta de consenso sobre el razonamiento científico es un cierto fracaso y proponen una taxonomía de seis estilos de razonamiento científico: deducción matemática, exploración experimental, modelización, categorización y clasificación, pensamiento probabilístico y estadístico y relatos evolutivos.

Fischer et al. (2014) revisan los temas y hallazgos clave de la investigación sobre el desarrollo del razonamiento y la argumentación científicos y los enfoques de apoyo. Sugieren fundamentar la investigación en ocho actividades epistémicas: identificación de problemas, cuestionamiento, generación de hipótesis, construcción y rediseño de artefactos, generación y evaluación de evidencias, sacar conclusiones, y comunicar y analizar el razonamiento y sus resultados. Además, proponen abordar el papel de las emociones epistémicas y del contexto social y la influencia de las tecnologías digitales sobre el razonamiento y la argumentación. La controversia acerca del carácter de dominio específico y general del PCF ha sido abordada en profundidad por Fischer, Chinn, Engelmann y Osborne (2018).

Los estándares de ciencias de la próxima generación (NGSS, 2013) presentan el concepto de práctica científica, desde el que proponen un tipo de PCF básico formado por las siguientes habilidades:



- hacer preguntas y definir problemas
- desarrollo y uso de modelos
- planificación y realización de investigaciones
- analizar e interpretar datos
- usar las matemáticas y el pensamiento computacional
- construir explicaciones y diseñar soluciones
- participar en argumentos a partir de evidencia
- obtener, evaluar y comunicar información

Algunas reconceptualizaciones de la NdC aportan una sistematización funcional del PCF. Erduran y Dagher (2014) presentan un amplio inventario de PCF que sintetizan en dos dimensiones interactivas (cognitiva-epistémica y social-institucional). La primera incluye prácticas científicas, objetivos y valores, conocimiento y métodos científicos y reglas metodológicas. La segunda contiene actividades profesionales, ética científica, certificación social, valores sociales y aspectos organizativos, políticos y financieros de la ciencia. A su vez, cada uno de ellos se desglosa en destrezas y valores científicos más concretos como clasificación, observación, experimentación, principios epistemológicos, redes institucionales, examen crítico, elección de teorías, anomalías, evaluación por pares, creatividad, contribuciones de diferentes personas, etc.).

En la misma línea, Vázquez y Manassero (2019a) re-conceptualizan la NdC en dos dimensiones (cognitiva-epistémica y social-institucional). La primera está constituida por la naturaleza del conocimiento científico y las relaciones ciencia-tecnología; la segunda contiene los elementos sociales de la práctica científica, tales como la comunidad científica (construcción social del conocimiento científico y tecnológico), las interacciones CTS, la influencia de la sociedad sobre el sistema de CyT, la influencia inversa del sistema de CyT sobre la sociedad y la influencia de la ciencia escolar sobre la sociedad. A su vez, cada categoría anterior se despliega en múltiples destrezas constitutivas del PCF; por ejemplo, la naturaleza del conocimiento científico contiene conocimientos epistémicos sobre observaciones, modelos científicos, esquemas de clasificación, cambio y provisionalidad, hipótesis, teorías y leyes, investigaciones, precisión e incertidumbre, razonamiento lógico, supuestos de la ciencia, estatus epistemológico y paradigmas.

### La investigación sobre pensamiento crítico

El PCR es el resultado de múltiples contribuciones, personales y colectivas, realizadas a lo largo de la historia, desde las preguntas filosóficas de Sócrates hasta hoy, que han desarrollado múltiples recursos y herramientas.

El PCR es hoy un constructo complejo establecido en el marco de la psicología cognitiva. La primera nota de complejidad es la carencia de una definición consensuada en la vasta literatura especializada, de modo que existen casi tantas definiciones como expertos. Sin ánimo de una revisión exhaustiva, una aproximación a algunas de ellas puede servir de introducción.



Aunque no sea la primera definición en el tiempo, la definición de Norris y Ennis (1989) es una de las más celebradas por su sencillez y profundidad:

*“...pensamiento reflexivo y razonable orientado a decidir qué creer o hacer”*

Con anterioridad Glaser (1941) había propuesto la siguiente definición:

*“...la habilidad de pensar críticamente ... implica tres cosas: (1) una actitud de estar dispuestos a considerar de manera reflexiva los problemas y temas que vienen como experiencias, (2) conocimiento de los métodos de investigación lógica y razonamiento y (3) cierta habilidad en la aplicación de esos métodos.”*

Paul y Elder (2008) definen el PCR como pensamiento auto-guiado y auto-disciplinado que emplea la razón en el más alto nivel de calidad y de manera justa e imparcial. Scriven y Paul (2003) elaboran esta definición para proponer la siguiente:

*“El pensamiento crítico es el proceso intelectualmente disciplinado de habilidades para conceptualizar, aplicar, analizar, sintetizar y/o evaluar información obtenida o generada por observación, experiencia, reflexión, razonamiento o comunicación, como guía de la creencia y la acción. En su forma ejemplar, se basa en valores intelectuales universales que trascienden las divisiones entre las distintas disciplinas: claridad, exactitud, precisión, consistencia, relevancia, pruebas sólidas, buenas razones, profundidad, amplitud y justicia.”*

Un rasgo importante del PCR es su normatividad: siempre se refiere al buen pensamiento, o sea, un pensamiento que satisface unos estándares de calidad (los valores intelectuales que se explicitan en la definición anterior). Puesto que la calidad es una cuestión de grado, el PCR es un pensamiento que requiere esfuerzo para cumplir con excelencia las normas y criterios de calidad (Bailin, 2002).

Además de los valores normativos y cognitivos, el PCR también supone ciertos valores afectivos que se manifiestan en una disposición permanente para pensar bien. Esta actitud es una disposición de aceptación y conformidad con los rigurosos estándares de excelencia, compromiso con el esfuerzo consciente para su uso, para la comunicación efectiva, y para superar el natural egocentrismo y socio-centrismo.

A modo de síntesis, se puede concluir que la mayoría de definiciones de PCR resaltan: el carácter de proceso, el objetivo de determinar el valor de una idea, una disposición firme a realizar un proceso de escrutinio, análisis, cambio, mejora e integración, sobre cualquier información o pensamiento para encontrar el valor que pueda contener, a tener la mente abierta a la contradicción y a puntos de vista opuestos, y a suspender sistemáticamente el pensamiento propio para analizar, evaluar y mejorar la calidad de cada pensamiento.

Algunos autores destacan, además, que el núcleo de este constructo está integrado por múltiples destrezas, de modo que optan por definirlo por extensión, es decir, enumerando el complejo y diverso conjunto de destrezas cognitivas de orden superior que lo forman. Por ejemplo, la definición extensiva de Fisher (2009) asigna al PCR las siguientes destrezas: identificar



los elementos clave; identificar y evaluar suposiciones y valores implícitos; clarificar e interpretar expresiones e ideas; juzgar la aceptabilidad y credibilidad de las afirmaciones; evaluar diferentes tipos de argumentos; poner a prueba las propias conclusiones; producir argumentos; apreciar e interpretar datos y pruebas; reconocer las relaciones lógicas entre proposiciones; comprender y usar el lenguaje con claridad, precisión y discriminación.

Otras destrezas adicionales del PCR, citadas usualmente en la literatura, serían las siguientes: analizar, evaluar y producir explicaciones; analizar, evaluar y tomar decisiones; extraer inferencias, conclusiones o generalizaciones; reconocer y resolver problemas; recoger y ordenar información pertinente; reconstruir las creencias propias con base en la experiencia, etc.

En suma, las definiciones de PCR son abstractas y difusas, y carecen de consenso entre los distintos autores. Por el contrario, las definiciones extensivas por destrezas, aunque tampoco alcanzan un consenso, resultan más concretos y precisos con referencia a las destrezas del PCR. En particular, las destrezas de PCR enumeradas sugieren ya muchas relaciones con las destrezas presentadas antes de PCF.

### **Pistas previas sobre la relación entre pensamiento crítico y científico y educación CTSA**

La conexión de este estudio con la educación CTS es que cierta literatura sobre la enseñanza-aprendizaje de temas CTSA, CSC y NdC sugiere directamente una conexión con el PCR. Desde esta perspectiva, Yager (1993) relacionó el PCR con la capacidad de hacer elecciones racionales y juicios fundamentados, como elementos claves para tomar las decisiones empleadas en resolver problemas. Más recientemente, Jiménez y Puig (2012) presentan un modelo de PCR formado por cuatro componentes: evaluación del conocimiento (con base en pruebas y criterios), disposiciones para buscar razones y desafiar la autoridad (agrupadas como argumentación), independencia de la opinión (individual frente al grupo propio) y análisis crítico de los discursos (ambos agrupadas como emancipación social). Comparan la contribución de la argumentación al PCR entre temas científicos y CSC, concluyendo que es similar en ambos respecto al primer componente del PCR, pero las CSC contribuyen más que los temas científicos al desarrollo de la emancipación social.

Otras investigaciones demuestran que los estudiantes no logran aprendizajes en CSC porque cometen errores básicos de PCR, tales como confundir datos y justificaciones, introducir opiniones, inferencias y reinterpretaciones personales, saltar a las conclusiones como autoevidentes, ignorar contraargumentos o pruebas contrarias a sus ideas, carecer de meta-conocimientos epistémicos elementales, etc. (McDonald y McRobbie, 2012). Simonneaux (2014) informa dificultades similares y sugiere ya explícitamente que una condición necesaria para poder desarrollar con éxito las actividades y lograr los objetivos de aprendizaje sobre temas CSC-CTSA (debatir, elegir, decidir, etc.) es el dominio de destrezas de PCR, tales como argumentación (falacias), toma de decisiones, razonamiento, evaluación de pruebas, identificación de intereses, incertidumbres y valores etc. Además, concluyen que los aprendizajes epistémicos contribuyen a mejorar la competencia de pensamiento, coincidiendo en esto con McDonald y McRobbie (2012). Complementariamente, otros autores aportan indicadores sobre la relación de los aprendizajes CTS como promotor de destrezas de PCR (Vieira et al., 2010; Solbes y Torres, 2012; Torres y Solbes, 2014, 2016; Santos, 2017; Tamayo, 2017).



En suma, aunque la caracterización del PCF es compleja, epistemológica, cambiante, social y con sus partes y destrezas interrelacionadas, las investigaciones CTSA son claves para poner en evidencia la convergencia y conexiones entre PCF y PCR.

El libro seminal de Holyoak y Morrison (2005) sostiene que PCR y PCF son constructos análogos, pero diferentes; ambos incluyen procesos cognitivos y meta-cognitivos, valores y disposiciones empleados para dar sentido a la información. La diferencia estriba en que el PCR, aplicado en cualquier ámbito humano y también en ciencia, es más amplio que el PCF, que sería un subconjunto de las habilidades del PCR involucradas en dominios científicos y sometidas a valores, métodos y paradigmas más exigentes.

Así como la investigación CTS presenta múltiples conexiones hacia el PCR, algunos investigadores en PCR también han defendido la relación del PCF con el PCR. El proyecto Zero de Harvard propone seis tendencias o patrones del PCF: (1) pensamiento creativo y crítico (2) documentación extensa (3) fuertes poderes de observación (4) síntesis de información y colaboración con otros (5) serendipia y (6) uso de tecnología y recursos (Heffner-Wong, Morris, Jasti, Liu y Grotzer, 2010). Por su parte, la guía del PCF de Paul y Elder (2010) cita como elementos del PCF: cuestiones, conceptos e información científica, interpretaciones e inferencias, supuestos científicos, consecuencias e implicaciones, propósitos y marcos de referencia y orientaciones.

Finalmente, la tendencia mundial de la educación del siglo XXI, representada por organizaciones y expertos educativos, están proponiendo para todos los niveles educativos la enseñanza del PCR como una competencia transversal, clave y funcional para todos los aprendizajes (entre otros, Fullan y Scott, 2014). Esta tendencia crea demandas sociales de más y mejor educación en destrezas de pensamiento, que acentúan la gran relevancia educativa del PCR; en este contexto, el PCR se considera un conjunto de destrezas cognitivas de alto nivel (por encima del mero seguimiento de normas y prescripciones) que se corresponderían con las categorías más altas de la taxonomía de Bloom, a saber, análisis, síntesis, evaluación y creatividad (Krathwohl, 2002). Desde esta perspectiva, todas las asignaturas y todas las áreas de conocimiento y aprendizaje, incluyendo las ciencias, están implicadas en la educación del PCR.

## Metodología

A la vista de la amplia literatura revisada, se plantea la pregunta de investigación de interés para la educación CTS, ampliamente ligada a la educación del PCF: ¿en qué grado los constructos PCR y PCF son similares o diferentes? ¿Cuáles son los factores y consecuencias de esta similitud o diferencia?

La búsqueda de respuesta a la pregunta de investigación parte de un análisis de contenido de las propuestas de la literatura para PCF y PCR. La contextualización y el análisis de la literatura presentada en los párrafos precedentes acerca del PCF ponen de manifiesto su esencia compleja, y, como tal, discutible. No obstante, dentro de esta complejidad, el análisis de los contenidos revela las evidentes y múltiples coincidencias entre los diversos autores. Estas coincidencias permiten avanzar hacia el desarrollo de una síntesis, sin reduccionismos o pérdidas de complejidad, donde una sistematización virtuosa de las propuestas desarrolla una comprensión consensual del PCF.



Finalmente, se desarrolla un análisis comparativo de los contenidos de ambos, para elaborar una propuesta de la relación entre ambos.

El análisis de las destrezas de PCR presentes en la literatura tiene muchas dificultades: las diferentes terminologías empleadas para definir las destrezas, el número muy desigual de destrezas consideradas por cada autor y el agrupamiento de las destrezas en categorías arbitrarias de los que ofrecen un conjunto más amplio de destrezas son algunas de ellas.

Sin embargo, los instrumentos de evaluación de PCR aportan una mayor claridad para los análisis de contenidos, pues, por su naturaleza precisa y concreta, fijan con más precisión el objeto de evaluación, concretando mejor las destrezas evaluadas y su importancia relativa. Por ello, los instrumentos de evaluación de PCR ofrecen una referencia más concreta para aproximarse al concepto de PCR de forma más precisa (la tabla 1 relaciona los tests que se han tenido en cuenta metodológicamente).

Tabla 1: Instrumentos de evaluación de pensamiento crítico y número de destrezas evaluadas

Instrumentos de evaluación	Destrezas
California Critical Thinking Skills Test	7
Collegiate Learning Assessment	3
Cornell Class Reasoning Test	1
Cornell Conditional Reasoning Test	1
Cornell Critical Thinking Test	44
Cornell Critical Thinking Test, Level X	1
Cornell Critical Thinking Test, Level Z	1
Critical Thinking Value Rubric	16
Critical-thinking Assessment Test	16
Ennis-Weir Critical Thinking Essay Test	9
Fisher Model of Critical Thinking Skills	15
Halpern Critical Thinking Assessment (HCTA)	5
James Madison Test of Critical Thinking	14
National Assessment of Higher Order Thinking	85
PENCRISAL	5
Scientific Thinking and Integrative Reasoning Skills	5
Thinking Skills Assessment Test	2
Watson-Glaser Critical Thinking Test	5

Para superar los inconvenientes del análisis de contenido se ha aplicado una hermenéutica interpretativa que elabora equivalencias de términos (ejemplo, razonamiento categórico, deducción, elaborar conclusiones, etc.), equilibra las contribuciones de los distintos instrumentos y prioriza las categorías más frecuentes (ver más detalles en Manassero y Vázquez, 2019b).



## Resultados

En esta sección se exponen dos resultados elaborados por los autores para el pensamiento, científico y crítico, con la forma de taxonomías, que son la base sobre la cual se realiza el análisis comparativo de contenidos entre ambos para dar respuesta a la pregunta de investigación sobre la relación entre PCF y PCR.

### Taxonomía del pensamiento científico

Sintetizando el análisis de contenidos de las propuestas de la literatura se elaboró una taxonomía del PCF que involucra un decálogo de aspectos básicos (Vázquez y Manassero, 2018). Cada aspecto se despliega en diversas habilidades más concretas que contribuyen a caracterizarlo y ayudan a conectarlo con la práctica científica y los currículos educativos (actualizados en tabla 2).

Tabla 2: Modelo de pensamiento científico que sintetiza los aspectos básicos y las destrezas específicas a partir de la literatura sobre el tema

Aspectos	Destrezas asociadas
1 Observación	Observar; Recoger datos; Recopilar información; Describir; Historiar
2 Categorización	Definir supuestos, conceptos y problemas; Clasificar, organizar, ordenar entes; Analizar, comparar, contrastar
3 Reconocimiento de patrones	Agrupar datos semejantes; Cuantificar medidas; Descubrir regularidades; Sintetizar; Generalizar empíricamente
4 Hipótesis (creación y verificación)	Formular preguntas; Identificar problemas y supuestos; Formular hipótesis; Planificar y desarrollar investigaciones; Aplicar análisis estadísticos; Usar adecuadamente la tecnología; Aplicar pensamiento matemático y computacional
5 Control de variables	Controlar efectos de múltiples variables; Atribuir causalidad; Usar la lógica; Resaltar datos sorprendentes o contradictorios; Plantear problemas prácticos
6 Modelos (metáforas y analogías)	Crear modelos, analogías y teorías; Resolver problemas; Tomar decisiones; Buscar bases para el conocimiento; Replicar teorías, modelos, conocimientos; Simular modelos y datos
7 Coordinación de explicaciones y pruebas	Utilizar pruebas; Argumentar; Identificar datos probatorios; Deducir, Inferir, Abducir conclusiones; Emitir juicios críticos; Aceptar y rechazar teorías; Justificar y validar conocimientos; Sugerir solución o comparación; Construir explicaciones y teorías coherentes, válidas y fiables
8 Elaboración de información y materiales	Explorar literatura, hipótesis; Construir tablas, figuras, diagramas y gráficos; Crear e imaginar investigaciones y experimentos; Desarrollar tecnologías; Afrontar necesidades y problemas sociales; Informar políticas científicas



9 Información y comunicación	Comunicar y compartir conocimiento; Publicar descubrimientos; Trabajar en equipo cooperativamente; Participar en congresos; Debatir con los colegas teorías y soluciones; Evaluar comunicaciones propias y de otros; Asumir responsabilidades (personales y sociales)
10 Actitudes y valores	Pensar con corrección, integridad e imparcialidad; Mantener una actitud escéptica y curiosa; Mostrar apertura de mente; Desafiar el conocimiento con alternativas; Evaluar suposiciones; Predecir consecuencias; Buscar con creatividad e imaginación nuevas ideas y conocimientos; Competir y cooperar éticamente; Actuar ética y legalmente; Sensibilidad a las relaciones con la sociedad

El modelo 3-mundos (mundo natural, mundo de la práctica y mundo del conocimiento tecno-científica) para la re-conceptualización de la naturaleza de la ciencia es una fuente de inspiración para interpretar esta taxonomía (Manassero y Vázquez, 2019a). Los cinco primeros aspectos del PCF (observación, categorización, patrones, hipótesis y control de variables) se corresponderían con las interacciones bidireccionales básicas entre el mundo de la práctica tecno-científica y el mundo natural (observar-experimentar y tomar datos-verificar ideas). Los cinco últimos aspectos (elaboración, coordinación, modelización, información y valores) se corresponderían con las interacciones entre el mundo de las prácticas tecno-científicas y el mundo del conocimiento tecno-científico (orientación de la práctica por el conocimiento y construcción del conocimiento científico y tecnológico).

Otra forma de interpretar el decálogo del PCF de la tabla 2 toma como referencia las dos dimensiones de la práctica científica (cognitivo-epistémica y social-institucional) emergentes del modelo anterior. Desde esta perspectiva temática, los siete primeros aspectos del decálogo corresponderían a contenidos pertenecientes más bien a la dimensión cognitivo-epistémica, mientras los tres últimos aspectos (elaboración, comunicación y actitudes) tendrían un contenido social predominante.

La naturaleza compleja e interactiva del PCF se proyecta sobre la estructura abierta y flexible de la taxonomía. Los aspectos y las destrezas asociadas no tienen un carácter cerrado y rígido, sino abierto y flexible, como se puede advertir de las intersecciones y conceptos compartidos entre ellas.

### Taxonomía del pensamiento crítico

El procedimiento de elaboración se ha basado en identificar las destrezas más frecuentes de la literatura de párrafos anteriores y, especialmente, en los instrumentos de evaluación del PCR de múltiples autores (tabla 1), y realizar una síntesis empírica final a partir de las frecuencias de aparición de las distintas destrezas de PCR. Además, se tienen en cuenta las propuestas de los diversos autores, para proponer una síntesis de cuatro dimensiones para la taxonomía del PCR y asignar sus destrezas (figura 1):

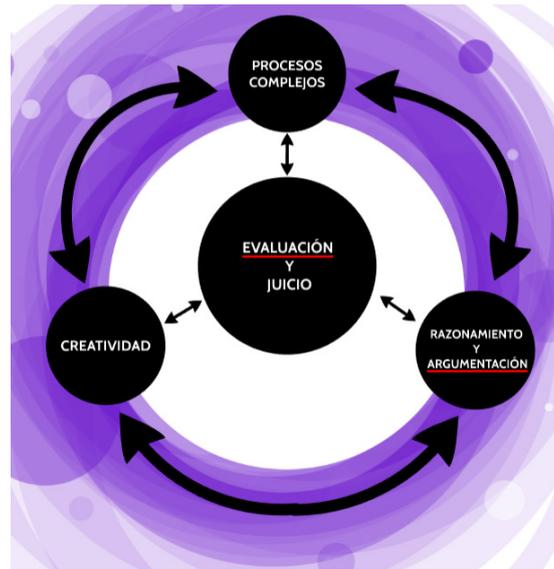


Figura 1: Dimensiones interactivas de la taxonomía de pensamiento crítico

- Creatividad.
- Razonamiento y argumentación.
- Procesos complejos (resolución de problemas y toma de decisiones).
- Evaluación y juicio.

Cada una de estas cuatro dimensiones se desarrolla en sub-dimensiones y categorías, que reflejan las múltiples habilidades del PCR (ver tabla 3) y detalles adicionales sobre la elaboración y explicación en Manassero y Vázquez (2019b).

### La relación entre PCF y PCR

Los aspectos del PCF (tabla 2) y las dimensiones y categorías del PCR (tabla 3) se han comparado cualitativamente mediante un análisis de los contenidos de sus habilidades específicas, con el objetivo de identificar las correspondencias mutuas entre ambos tipos de pensamiento. Para decidir esas correspondencias se ha aplicado el criterio del mejor ajuste, es decir, se ha comparado el contenido de cada categoría de PCR con todas las categorías del PCF; cuando el contenido de esta última tiene una o varias destrezas que son coincidentes con el contenido de las categorías del PCR, el aspecto de PCF se asigna a la categoría de PCR.

Los resultados de este análisis cualitativo de contenidos se muestran en la tabla 3: cada categoría del PCR tiene asignados (en su fila) los aspectos del PCF que comparten destrezas con esa categoría.



Los resultados de las correspondencias identificadas entre PCF y PCR no permiten afirmar un isomorfismo o coincidencia entre ambos constructos; por un lado, la comparación entre un aspecto del PCF y una categoría de PCR no ha resultado en una correspondencia uno a uno. Este resultado no es extraño, ni siquiera paradójico, porque como se ha enfatizado, ambas taxonomías surgen de tradiciones de investigación diferentes y, en este contexto, la expectativa previa de obtener una correspondencia uno a uno ni es normal, ni justificada. El resultado obtenido se puede describir más bien como una coincidencia muy amplia entre cada categoría de PCR y los varios aspectos de PCF asignados.

Como consecuencia de la complejidad de ambos constructos las correspondencias obtenidas tampoco son totales, es decir, cada aspecto del PCF puede tener alguna destreza que no se identifica plenamente con la destreza de PCR a la cual está asignada y viceversa. Por eso, algunos aspectos del PCF corresponden a varias categorías diferentes del PCR, y a la inversa, algunas categorías de PCR se relacionan con más de un aspecto del PCF (tabla 3).

La coordinación de explicaciones y pruebas es el aspecto del PCF más repetido sobre las categorías del PCR; también son muy frecuentes los aspectos información y comunicación y actitudes y valores. En sentido inverso, la categoría de PCR que reúne más aspectos de PCF es análisis y síntesis, lo cual se considera una consecuencia de la normatividad universal del pensamiento.

Tabla 3: Correspondencia entre las categorías del pensamiento crítico y los aspectos del pensamiento científico

<b>Pensamiento crítico (DIMENSIONES / Categorías)</b>	<b>Pensamiento científico (Aspectos)</b>
<b>CREATIVIDAD</b>	
Hacer buenas preguntas	Hipótesis (creación y verificación) Actitudes y valores
Observación	Observación
Análisis y síntesis	Categorización Reconocimiento de patrones Control de variables Modelos (metáforas y analogías)
<b>RAZONAMIENTO Y ARGUMENTACIÓN</b>	
Lógico	Control de variables Coordinación de explicaciones y pruebas
Empírico	
- Inductivo	Control de variables Coordinación de explicaciones y pruebas
- Argumentación	Control de variables Coordinación de explicaciones y pruebas
- Estadísticas	Hipótesis (creación y verificación) Control de variables Coordinación de explicaciones y pruebas
Falacias y errores	Control de variables



<b>PROCESOS COMPLEJOS</b>	
Toma de decisiones	Modelos (metáforas y analogías)
Resolución de problemas	Coordinación de explicaciones y pruebas Elaboración de información y materiales
<b>EVALUACIÓN Y JUICIO</b>	
Razonamiento	Coordinación de explicaciones y pruebas Información y comunicación
Acciones	Información y comunicación
Credibilidad de las fuentes	Elaboración de información y materiales
Identificar supuestos	Actitudes y valores
Estándares	Actitudes y valores
Comunicación	Elaboración de información y materiales Información y comunicación
Meta-cognición	
- Autorregulación y autorreflexión	Información y comunicación Actitudes y valores
- Actitudes y afectos	Actitudes y valores

Las relaciones obtenidas y las taxonomías también tienen implicaciones formales importantes. La equivalencia imperfecta entre el PCF y el PCR, paradójicamente, también permite distinguir funcionalmente entre ambos. La creatividad y la evaluación y juicio son dimensiones muy importantes para el PCR, mientras en los contextos específicos de la ciencia y de la educación científica las dimensiones de razonamiento, resolución de problemas y toma de decisiones tienen una mayor relevancia relativa. Estas consideraciones no significan que creatividad y evaluación y juicio no sean también importantes en ciencia, lo son, pero relativamente menos que para el PCR.

Esta pequeña diferencia funcional explica, en parte, la preferencia de la literatura científica por el término razonamiento científico, que transmite una mayor importancia de la dimensión de razonamiento para la ciencia, pero induce un significado más reduccionista que la más equilibrada denominación PCF.

## Conclusiones

Bailin (2002) sostuvo que desarrollar el PCR es un objetivo de la educación científica, pero no propone una justificación para ello. Este estudio muestra las relaciones y semejanzas de identidad entre PCF y PCR, y contribuye a clarificar también algunas diferencias entre ambos, lo cual deben permitir su proyección hacia la educación, general y científica, justificado por el refuerzo que ambas se pueden prestar, y hacia la investigación que cuenta ya con varios estudios (Torres y Solbes, 2014; Vieira et al., 2010).

La correspondencia PCF- PCR permite clarificar el estatus de ambos y favorecer su comprensión en varios niveles. El concepto PCR debería considerarse fundante y, por tanto, descriptor de



un constructo más amplio y universal, incluyendo a las demás categorías; complementariamente, las destrezas de PCF son parte del PCR, relacionadas entre sí, pero diferentes y jerarquizadas por la taxonomía. Además, la taxonomía debería contribuir a precisar la claridad del lenguaje y evitar expresiones mixtificadoras y equivocadas empleadas en mucha literatura para describir el PCR (European Union, 2014). La taxonomía debería servir también para facilitar el acceso del profesorado y de los no especialistas al PCR, poniendo las bases para favorecer su enseñanza, muy especialmente en los temas CTSA (Tamayo, 2017; Torres y Solbes, 2016).

Las grandes semejanzas entre PCF y PCR mostradas son también defendidas por otros autores (Holyoak y Morrison, 2005); algunos incluso defienden marcos donde el PCF se caracteriza total y explícitamente en términos de habilidades de PCR (Lawson, 2010). Sin embargo, los constructos PCR y PCF aunque semejantes, mantienen algunas diferencias, no solo por los diferentes dominios que los sustentan, sino por un matiz importante para la orientación CTSA: el PCR decide la mejor conclusión entre varias, pero el PCF decide la conclusión que mejor coordina con la evidencia. Los valores de PCF aplicados en la práctica científica son más exigentes que los estándares del PCR para la vida diaria y esto hace que el PCF aparezca como subconjunto del PCR.

Las semejanzas entre PCR y PCF deberían beneficiar la coordinación, fertilización y clarificación de ambas tradiciones de investigación: lograr la convergencia de terminologías y categorías de investigación, evitar la auto-referencialidad y desarrollar el potencial de la educación CTSA para mejorar las habilidades de PCR de los estudiantes, y viceversa, desarrollar el aprendizaje profundo en CTSA desarrollando las habilidades de PCR (Kuhn, 2002; Fullan y Scott, 2014; Yacoubian, 2015; Kind y Osborne, 2016).

Según Osborne (2014), el PCR se fomenta en ciencias y CTSA desde las más simples actividades, como responder a las ideas previas y erróneas de los estudiantes, pero también dando oportunidades a los estudiantes para involucrarse en comparar la evidencia con las predicciones, las observaciones y los argumentos y en procesos de crítica, argumentación, cuestionamiento y desafío al conocimiento establecido, frecuente en CSC. Este enfoque no solo ayuda a desarrollar la comprensión de la ciencia, sino también a desarrollar la capacidad de razonar crítica y científicamente y a mantener la objetividad de la ciencia, alejada de creencias simplistas y anticríticas (Longino, 1990; Yacoubian, 2015; Jiménez y Otero, 2019).

Finalmente, se pretende ampliar la base empírica de los resultados expuestos mediante una consulta de grupos focales con expertos en PCF y PCR acerca de su funcionalidad, y cuya dificultad principal reside en identificar las personas expertas en ambas áreas.

Como colofón y homenaje, un texto de Mario Bunge (1991), físico y filósofo argentino recientemente desaparecido, suena hoy profético, pues cuando se escribió aún estaba por llegar la ola del relativismo posmodernista y sus perniciosas secuelas, como la guerra de las ciencias, y el embate anticrítico actual de la información engañosa. Ahora, simplemente suena realista, como le gustaba ser:

*“Claramente, enseñar pedazos de información científica, o asignar algunos experimentos, ha resultado insuficiente para formar una actitud científica y una visión científica del mundo. Los planes de estudio escolares deberían incluir cursos de pensamiento crítico, enseñando no solo cómo reconocer las falacias lógicas sino también cómo evaluar las afirmaciones de verdad objetivas. En*



*otras palabras, deberíamos estar enseñando no solo el contenido, sino también el método, y esto no solo en cursos especiales sino en todos los cursos de ciencias, tecnologías y humanidades. Además, deberíamos discutir algunas de las creencias pseudocientíficas de moda. En cambio, a menudo se enseñan como ciertas en el aula” (Bunge, 1991, p. 273).*

## Agradecimientos

Proyecto EDU2015-64642-R (AEI / FEDER, UE) financiado por la Agencia Estatal de Investigación y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

## Referencias

- Bailin, S. (2002). Critical thinking and science education. *Science & Education*, 11, 361–375.
- Bunge M. (1991). What is science? Does it matter to distinguish it from pseudoscience? A reply to my commentators. *New Ideas in Psychology*, 9, 245-283.
- Ding, L., Wei, X., & Liu, X. (2016). Variations in university students' scientific reasoning skills across majors, years, and types of institutions. *Research in Science Education*, 46, 613–632. <https://doi.org/10.1007/s11165-015-9473-y>
- Dunbar, K. N., & Klahr, D. (2012). Scientific thinking and reasoning. En K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 456-474). Oxford: Oxford University Press.
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (Eds.) (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education. Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*. Dordrecht: Springer.
- European Union (2014). Key Competence Development in School Education in Europe. KeyCoNet's review of the literature: A summary. <http://keyconet.eun.org>.
- Faye, J. (2014). *The Nature of Scientific Thinking. On Interpretation, Explanation and Understanding*. London: Palgrave Macmillan UK.
- Fischer, F., Chinn, C., Engelmann, K., & Osborne, J. (2018). *Scientific Reasoning and Argumentation: The Roles of Domain-Specific and Domain-General Knowledge*. New York: Routledge.
- Fischer, F., Kollar, I., Ufer, S., Sodian, B., Hussmann, H., Pekrun, R., ... & Eberle, J. (2014). Scientific Reasoning and Argumentation: Advancing an Interdisciplinary Research Agenda in Education. *Frontline Learning Research*, 5, 28-45. <http://dx.doi.org/10.14786/flr.v2i3.96>
- Fisher, A. (2009). *Critical Thinking. An Introduction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fullan, M., & Scott, G. (2014). *Education PLUS*. Seattle, W.: Collaborative Impact SPC.
- Glaser, E. M. (1941). *An Experiment in the Development of Critical Thinking*. New York: Teacher's College, Columbia University.
- Greenhoot, A. F., Semb, G., Colombo, J., & Schreiber, T. (2004). Prior beliefs and methodological concepts in scientific reasoning. *Applied Cognitive Psychology*, 18, 203–221. <https://doi.org/10.1002/acp.959>
- Heffner-Wong, A., Morris, L., Jasti, C., Liu, D., & Grotzer, T. (2010). *The Nature of Scientific Thinking. Lessons Designed to Develop Understanding of the Nature of Science and Modeling*. Cambridge, MA: Harvard Graduate School of Education,



- Holyoak, K. J., & Morrison, R. G. (Eds.), *The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 456-474). Oxford: Oxford University Press.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Puig, B. (2012). Argumentation, Evidence Evaluation and Critical Thinking. En B.J. Fraser, K. G. Tobin & C. J. McRobbie, (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*, 1001-1016. Dordrecht: Springer, DOI 10.1007/978-1-4020-9041-7\_64.
- Jiménez-Taracido, L., & Otero-Gutiérrez, J. (2019). La educación científica frente al pensamiento anticrítico en la vida diaria. *Enseñanza de las ciencias*, 37, 117-135. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2608>
- Kind, P. (2013). Establishing Assessment Scales Using a Novel Disciplinary Rationale for Scientific Reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 50, 530-560.
- Kind, P., & Osborne, J. (2016). Styles of Scientific Reasoning: A Cultural Rationale for Science Education? *Science Education*, 101, 8-31.
- Krathwohl, D. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy. *Theory into Practice*, 41, 212-218.
- Kuhn, D. (2002). What is scientific thinking and how does it develop? En U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 371-393). Oxford: Blackwell Publishing.
- Lawson, A. E. (2010). Basic inferences of scientific reasoning, argumentation, and discovery. *Science Education*, 94, 336-364. <https://doi.org/10.1002/sce.20357>.
- Longino, H. E. (1990). *Science as social knowledge: Values and objectivity in scientific inquiry*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Manassero, M. A., & Vázquez, A. (2019a). Conceptualización y taxonomía para estructurar los conocimientos acerca de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16, 3104.
- Manassero, M. A., & Vázquez, A. (2019b). **Taxonomía de las destrezas de pensamiento: una herramienta clave para la alfabetización científica**. En M. D. Maciel y E. Albrecht (org.), *Ciência, Tecnologia y Sociedade: Ensino, Pesquisa e Formação* (pp. 17-38). Sao Paulo: UNICSUL.
- McDonald, C. V., & McRobbie, C.J. (2012). Utilising Argumentation to Teach Nature of Science. En B.J. Fraser, K. G. Tobin & C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 969-986). Dordrecht: Springer.
- Moshman, D. (2015). *Epistemic cognition and development: The psychology of justification and truth*. New York: Psychology Press.
- Norris, S.P., & Ennis, R.H. (1989). *Evaluating critical thinking*. Pacific Grove, CA: Midwest Publications.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States (Nature of Science)*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Osborne, J. (2014). Teaching Critical Thinking? New Directions in Science Education. *School Science Review*, 95(352), 53-62.
- Paul, R., & Elder, L. (2008). *The miniature guide to critical thinking: Concepts and tools*. (5th ed.). Dillon Beach, CA: Foundation for Critical Thinking Press.
- Paul, R., & Elder, L. (2010). *A miniature guide for students and faculty to scientific thinking*. The Foundation for Critical Thinking. [https://www.criticalthinking.org/TGS\\_files/SAM-ScientificThinking.pdf](https://www.criticalthinking.org/TGS_files/SAM-ScientificThinking.pdf)
- Roberts, D. (2007). Scientific literacy/science literacy. En S.K. Abell y N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729-780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Santos, L. F. (2017). The Role of Critical Thinking in Science Education. *Journal of Education and Practice*, 8(20), 159-173.



- Scriven, M., & Paul, R. (2003). Defining Critical Thinking. (<http://www.criticalthinking.org/University/univclass/Defining.html>).
- Simonneaux, L. (2014). From Promoting the Techno-sciences to Activism – A Variety of Objectives Involved in the Teaching of SSIs. En L. Bencze & S. Alsop (Eds.), *Activist Science and Technology Education* (pp. 99-112). Dordrecht: Springer.
- Solbes, J., & Torres, N. (2012). Análisis de las competencias de pensamiento crítico desde el abordaje de las cuestiones socio-científicas: un estudio en el ámbito universitario. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 26, 247-269. DOI: 10.7203/DCES.26.1928.
- Tamayo Alzate, O. E. (2017). Interacciones entre Naturaleza de la Ciencia y Pensamiento Crítico en dominios específicos del conocimiento. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, No. Extra, 521-526.
- Torres, N. Y., & Solbes, J. (2014). Aspectos convergentes del pensamiento crítico y las cuestiones sociocientíficas. *Góndola*, 9, 54-61.
- Torres, N., & Solbes, J. (2016). Contribuciones de una intervención didáctica usando cuestiones socio-científicas para desarrollar el pensamiento crítico. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 34, 43-65. DOI: <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1638>.
- Vázquez-Alonso, Á., & Manassero-Mas, M. A. (2018). Pensamiento científico y pensamiento crítico: dos caras de la misma moneda para la educación científica. En P. Membiela, M. I. Cebreiros y M. Vidal (eds.), *Nuevos retos en la enseñanza de las ciencias*. Vigo: Educación Editora.
- Vesterinen, V-M., Manassero-Mas, M. A., & Vázquez-Alonso, Á. (2014). History, Philosophy, and Sociology of Science and Science- Technology-Society Traditions in Science Education: Continuities and Discontinuities. En M.R. Matthews (ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1895-1925). Dordrecht: Springer.
- Vieira, M. R., Tenreiro-Vieira, C., & Martins, E. (2010). Pensamiento Crítico y literacia científica. *Alambique*, 65, 96-104.
- Yacoubian, H. A. (2015). A Framework for Guiding Future Citizens to Think Critically About Nature of Science and Socioscientific Issues. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 15, 248-260.
- Yager, R. E. (1993). Science and critical thinking. En Clarke, J. H. y Biddle, A.W. (Eds.), *Teaching critical thinking: Reports from across the curriculum*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27, 172–223. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2006.12.001>