



## RELACIONES CAUSALES EXPLICATIVAS EN LA EDUCACION CIENTÍFICA Y SU CONTRIBUCIÓN AL PENSAMIENTO CRÍTICO

*Explanatory causal relationships in science education and its contribution to critical thinking*

**Nidia Yaneth Torres Merchan** [nidia.torres@uptc.edu.co]  
*Facultad de Ciencias de la Educación*  
*Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*  
Avenida Central del Norte 39-115, Tunja, Boyaca, Colombia

**Thiago Henrique Barnabe Correa** [correa.uftm@gmail.com]  
*Programa de Pós-Graduação em Educação*  
*Universidade Federal do Triângulo Mineiro*  
Av. Frei Paulino, nº 30 - Bairro Abadia - CEP: 38025-180, Uberaba, MG, Brasil

**Jordi Antoni Solbes Matarredona** [jordi.solbes@uv.es]  
*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales*  
*Universidad de Valencia*  
Av. dels Tarongers, 4, 46022 València, Valencia, España

### Resumen

El termino causalidad se utiliza en diferentes disciplinas de las ciencias desde la Física hasta la Biología; donde se hace uso rutinario de estos conceptos para inferir relaciones causales. Es evidente que las ciencias son el mejor lugar al que acudir para comprender la causalidad, pero en cada una ha sido abordado de manera diferente. Por lo tanto, pretendemos reflexionar en la siguiente pregunta: ¿Que implica utilizar este término (relaciones causales) en la educación científica? y ¿Cómo éstas contribuyen al pensamiento crítico? Para ello, se presentan enfoques epistemológicos sobre la causalidad desde la filosofía, la psicología y las ciencias naturales; posteriormente se describen sus implicaciones en la Educación científica y finalmente presentamos las nociones de relaciones causales y su contribución al pensamiento crítico.

**Palabras-Clave:** Causalidad; Mecanismos causales; Educación Científica; Pensamiento crítico.

### Abstract

The term causality is used in different disciplines of the sciences from Physics to Biology; where routine use is made of these concepts to infer causal relationships. It is clear that the sciences are the best place to go to understand causality, but in each one it has been approached differently. Therefore, we intend to reflect on the following question: What does it mean to use this term (causal relationships) in science education? And how do they contribute to critical thinking? To do this, epistemological approaches on causality from philosophy, psychology and natural sciences are presented; then its implications for science education are described and finally we present the notions of causal relationships and their contribution to critical thinking.

**Keywords:** Causality; Causal mechanisms; Science Education; Critical thinking.

### INTRODUCCIÓN

La causalidad es una noción fundamental en todos los campos de la ciencia, las relaciones causales han sido una forma de generar conocimiento y dar explicaciones. Si bien se ha señalado la importancia de la Causalidad en la educación científica, se ha centrado en estudios sobre cómo los estudiantes desarrollan indagación, control de variables, formulación de hipótesis (Russ, Scherr, Hammer, & Mikeska, 2008; Chen & Klahr, 1999). De manera similar, se ha prestado atención a las habilidades de los estudiantes para extraer

inferencias de los datos (Kuhn, 1993). Sin embargo, se ha evidenciado una mayor preocupación por el análisis de la argumentación que por definir el papel de la causalidad en la enseñanza de las ciencias (Gopnik, Sobel, Schulz, & Glymour, 2001; Disessa, 2014).

Al parecer los estudios en educación en ciencias, prestan atención al marco de los mecanismos causales. Russ *et al.* (2008), llaman la atención sobre el papel del mecanismo causal en la investigación científica, pues es evidente que históricamente, el progreso de este tipo de investigación se caracteriza en parte por un cambio hacia el razonamiento sobre los mecanismos causales. Así, Koslowski (1996), señala que los mecanismos causales no deben solamente entenderse como subordinados a los procedimientos de control de variables y señala que es un desafío para la educación científica. Al respecto, se han dado investigaciones sobre inferencias causales (Gopnik *et al.*, 2001), análisis de los registros escritos de los estudiantes en clases de Ciencias (Oliveira & Carvalho, 2005), comprensión del papel de los mecanismos en las explicaciones científicas (Tolmie & Dündar-Coecke, 2019), la predicción, observación y explicación de procesos causales (Dündar-Coecke, Tolmie, & Schlottmann, 2020) o el uso de mapas y diagramas causales en la comprensión de fenómenos científicos (Hanisch & Eirdosh, 2020).

También se observan trabajos en la psicología, que sugieren que el conocimiento de los mecanismos es un componente esencial de las teorías de dominio específico (Chen & Klahr 1999; Goldvarg & Johnson-Laird, 2001; Gopnik *et al.*, 2001; Schlottmann, 2001; Kim, 2007; Tolmie & Dündar-Coecke, 2019). Otras investigaciones presentan evidencia de que el conocimiento de los mecanismos es lo que nos ayuda a identificar y comprender la estructura causal del mundo (Ahn, Kalish, Medin, & Gelman, 1995; Craver & Tabery, 2017; Glennan, 2002). Pese a lo anterior, no hay claridad sobre que corrientes epistemológicas utiliza la educación científica y como debe profundizarse en los procesos pedagógicos y didácticos. El concepto de causalidad es polisémico y requiere reflexionar sobre preguntas como ¿Qué constituye una causa y un efecto? ¿Se debe hablar de causalidad o mecanismos causales? Algunas respuestas planteadas en Bechtel y Abrahamsen (2005), indican que depende del sistema total de explicaciones en el que está incrustada la secuencia causal o en campo de estudio en que se aborde la causalidad.

Estudios de Groff (2017) y Illari (2011) señalan que hay una contradicción en el uso del término mecanismo causal y no es clara su relación con la causalidad en general; por esta razón se requiere argumentar porque es necesario prestar atención a estas relaciones causales en la educación científico y como estas pueden contribuir al pensamiento crítico. Creemos importante que los estudiantes entiendan como toman una decisión, pues si se comprende bien las relaciones subyacentes entre un número de eventos, entonces se percibe de mejor manera el funcionamiento de los fenómenos. Por lo tanto, es una propuesta para enseñar a razonar y pasar de un ambiente de asociaciones a uno causal.

En el campo de la educación científica, no son claras las apuestas pedagógicas y didácticas para reflexionar sobre su importancia. En investigaciones previas (Solbes & Torres, 2012, 2013; Torres & Solbes, 2016) hacíamos notar la importancia de reflexionar sobre el pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias y la insistencia que debe realizarse para la interpretación de los problemas, de manera que se contribuya a dejarse de lado el conformismo, con explicaciones superficiales y prejuicios personales. Por el contrario, se deben utilizar principios causales, revisión de la información, posturas creativas e inquietantes que les permitan superar visiones neutrales y cerradas, lo cual hace necesario abordar las relaciones causales como contribución al pensamiento crítico (Torres, 2014).

La causalidad da lugar al conocimiento científico, sabemos que las cosas no ocurren de manera aislada, sino que unas están ligadas a otras en un proceso de interacción. Esto nos da lugar hablar de relaciones causales, pues el conocimiento científico se caracteriza porque conoce las causas de los fenómenos que estudia. Conocer la causalidad surge como una necesidad a partir de la racionalización; lo cual procurar eliminar la duda, la incertidumbre y la creencia en falacias, como condiciones necesarias al pensamiento crítico, como lo postula la filosofía crítica.

De todo lo anterior, hay acuerdo en entender la causalidad como una relación entre dos entidades causa y efecto o causas-efectos. Sin embargo, se abre una serie de debates alrededor de preguntas como: ¿Se debe hablar de causalidad, relaciones causales o mecanismos causales? ¿Qué enfoque debe asumirse en la educación científica con respecto a la causalidad? Lo anterior implica conocer las fundamentaciones filosóficas sobre las cuales se aborda la causalidad y los mecanismos causales, que en la mayoría de los casos son distintos (empirismo vs. racionalismo) (Kim, 2007; Pérez, 1999) o ubicarse en posiciones diferentes en relación con grandes postulados filosóficos como el innatismo o el dualismo cartesiano (Bechtel & Abrahamsen, 2005).

Vale mencionar que el tema destacado ha sido poco discutido en el campo de la enseñanza de las ciencias (entendida como la práctica social de educar en esa temática a la ciudadanía, tanto a nivel formal como informal), lo que requirió una revisión sistemática de la literatura. Así, esta investigación presenta pertinencia académica una vez que es posible observar la falta de referencias específicas. Con eso, en primer lugar, con la intención de fundamentar conceptualmente el tema, abordaremos la causalidad en la filosofía y en la psicología, luego en las ciencias naturales y por último presentaremos su articulación con la Didáctica de las Ciencias (ciencia social que estudia los problemas de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias) y el pensamiento crítico.

## **CONCEPTUALIZACIÓN DE LA CAUSALIDAD DESDE LA FILOSOFÍA Y LA PSICOLOGÍA**

La palabra causal proviene del latín *causālis*, dicese de la relación de causa que existe entre dos o más hechos. La causalidad, se ha establecido con la relación entre acontecimientos, procesos, regularidad de los fenómenos y la producción de algo. El concepto ha sido abordado desde la filosofía como un mecanismo para llegar al conocimiento científico y se considera como un principio clásico de la filosofía y la ciencia, que afirma que todo evento tiene una causa y efecto; por esta razón, las cosas no ocurren de manera aislada, sino que unas están ligadas a otras en un proceso de interacción.

Aristóteles en el siglo IV AC, consideraba como causa al hecho que produce otro hecho, señalando cuatro aspectos: *la causa material* que se relaciona con la materia inmanente de la que está hecha una cosa; *la causa formal* que comprende la forma, las dimensiones y el modelo; *la causa eficiente o motriz*, aquello donde procede el primer principio del cambio y del reposo o sea del efecto; y *la causa final o teleológica*, que son las motivaciones para la acción (Sánchez, 2012).

Se han dado varias teorías acerca de la causalidad; por ejemplo, la *regularidad causal* asociada a conexiones y a las sucesiones de eventos, aquí se habla de causa y efecto; existe la conjunción constante de dos eventos del mismo tipo, y se identifica la causa con la suma total de condiciones positivas y negativas que anteceden a un evento con regularidad (David Hume; John Stuart Mill y John L. Mackie). Hume (1777/1975), definía una relación causal como un par de eventos asociados y contiguos en tiempo y espacio, luego de poner en marcha un mecanismo inductivo a partir de la frecuencia de aparición de ambos eventos en el mismo orden, es decir regularidad.

Kant (1787/2008), que está de acuerdo con Hume en que la causalidad (y el razonamiento en términos de causa-efecto) nada tiene que ver con la experiencia, y discrepa, la causalidad como concepto puro del entendimiento, a partir de las cuales se aprehenden los fenómenos y se organiza nuestro conocimiento del mundo, consiste, en la sucesión de lo diverso, en la medida en que tal sucesión se halla sometida a una regla, por lo cual Kant mantienen el carácter de necesidad del principio de causalidad.

En estudios más recientes, por ejemplo, Groff (2017), divide el estudio de la causalidad en dos teorías: Las *pasivistas* de la causalidad y teorías productivas *antipasivistas* de la causalidad. En estas últimas, están aquellos puntos de vista según los cuales, la causalidad es un tipo de hacer, un cambio que se produce. Las causas, desde esta perspectiva, literalmente producen los efectos que causan. Aquí las causas son asumidas como cosas que producen; este autor se refiere a esta categoría como un enfoque basado en poderes y al sentido de causalidad que sustenta como causalidad productiva. Señala que, en la historia de la filosofía occidental, Aristóteles es el paradigma teórico de los poderes, de modo que las explicaciones de este tipo se consideran en general neoaristotélicas. Sin embargo, Leibniz, Reid y Locke también entran en esta categoría. Los principales defensores contemporáneos de la causalidad productiva incluyen: Brian Ellis; Stephen Mumford y Rani Anjum; Roy Bhaskar; Rom Harre y E.H. Madden; y Nancy Cartwright (Ellis, 2001; Mumford & Anjum, 2010, 2012; Bhaskar, 2008).

En relación a las teorías *pasivistas*, se reúnen todas aquellas que no se refiere a una cuestión de producción o acción. Aquí se pueden encontrar dos grupos: las que definen que la causalidad es una necesidad de relación como Della Roca, (2008), por la cual una cosa explica a la otra. Kant defendió una variante de este tipo de causalidad en la crítica de la razón pura, es decir que la causalidad es una categoría trascendental que se construye en conocimiento mismo.

De lo señalado por Hume (1777/1975), se ha dado lugar a lo que Stathis Psillos llama RVC (traducido sería visión de regularidad de la causalidad) (Psillos, 2002). Los RVC identifican la causalidad con el hecho de la regularidad en sí misma, no con un sentimiento proyectado de expectativa y pueden creer que es algo más que impresiones que vienen en secuencias ordenadas, pero retienen la idea de que una causa no es algo que produce algo, una causa es algo que va primero en un par ordenado.

También se han dado otras teorías que no necesariamente siguen la regularidad y linealidad, sino que requiere considerar otras posibilidades, por ejemplo, la *teoría contrafáctica*, desarrollada por David Lewis (1973), señala que la causalidad entre dos eventos puede ser mediada por distintos estadios de los que, por separado, el efecto no depende causalmente. Esta teoría también es complementada con la noción de influencia, añadiendo que el condicional contrafáctico no sólo ha de reflejar dependencias basadas en la ocurrencia o no de un evento; sino también en cuándo y cómo ocurre. También (Kim, 2007; Pérez, 1999; Goldvarg & Johnson-Laird, 2001) comentan la concepción contrafáctica de la causalidad, A es causa de B sólo en el caso en que B sea contrafácticamente dependiente de A; o la idea de dependencia como base de las relaciones causales. En ese sentido, hace una distinción fundamental entre relaciones causales de nivel básico o microscópicas y de nivel superior o macroscópicas, por lo tanto, las condiciones de verdad de los contrafácticos están constituidas por aquello que sucede en los mundos posibles más cercanos al mundo actual; en estas circunstancias es necesario imaginar todas las posibles condiciones desconocidas en que un evento pueda ocurrir, lo que supone ir más allá de la causalidad física. En este sentido, se refiere a los acontecimientos que forman parte de un universo de posibilidad.

También, la *teoría probabilística*, es un camino a las dificultades con las teorías de la regularidad y la comprensión de las regularidades imperfectas: por ejemplo, la mayoría de las causas no son seguidas invariablemente por sus efectos, una causa genera diversos efectos, lo cual hace evidente analizar la heterogeneidad de las circunstancias en las que surge la causa. Esta teoría defiende que una causa eleva la probabilidad de sus efectos (Hitchcock, 2016); lo cual implica que desde un punto de vista formal lleva a entender la relación causal no como eventos sino como variables aleatorias. La idea central detrás de estas teorías es que las causas cambian las probabilidades de sus efectos, por lo tanto, un efecto aún puede ocurrir en ausencia de una causa o dejar de ocurrir en su presencia y las relaciones causales están representadas por eventos en un espacio de probabilidad.

Como se evidenció anteriormente, hay variantes filosóficas del concepto y sobresalen la relación causal que se sostiene entre objetos, eventos en el espacio-tiempo, procesos causales y poderes causales que se pueden enmarcar en la causalidad física (Pulido, 2002). Sin embargo, también deben atenderse otros tipos de causalidad que se salen de esta connotación y generalmente son asumidos desde la psicología.

En el campo de la Psicología, Piaget (1967), fue uno de los primeros en considerar el problema de la causalidad y su relación con el razonamiento. Para Piaget no habría posibilidad de percepción causal innata, sino que sería una relación conceptual construida a partir de la experiencia y estructurada por el lenguaje. Propone que la idea de causalidad es parte de las nociones que se van precisando con el desarrollo cognitivo, pasando de un concepto centrado en el niño, a una caracterización objetiva, ajustada a la realidad. Indica que cuando los esquemas cognitivos relevantes se “descentran”, las relaciones causales adquieren un carácter espacial y objetivo. También desde la psicología infantil, pero con un enfoque cognitivo de dominio específico, Leslie, Friedman y German (2004) trabajan sobre el problema de la percepción y conceptualización de las relaciones causales y se dedican a demostrar empíricamente que niños muy pequeños perciben que algunos eventos del mundo están relacionados de modo causal y postulan que hay una alta probabilidad de que la percepción temprana de la causalidad sea uno de los pilares para construir teorías ingenuas.

Una postura similar adopta, Premack y Premack (1995), cuando postulan la intención como causa interna, diferenciándola de la causa física, se asocia a la teoría del condicionamiento operante, que indica que cuando dos estímulos se vinculan, el que tiene mayor probabilidad de ocurrir refuerza positivamente a otro menos probable; es decir, una respuesta conductual poco frecuente puede ser reforzada mediante otra respuesta, siempre y cuando esta última implique una preferencia mayor sobre la primera. Schlottmann (2001), ha discutido la relación entre percepción causal y razonamiento causal, y sugiere que, durante el desarrollo, la percepción causal está, al menos en parte, integrada con el razonamiento causal; de otro modo, los dispositivos mentales serían demasiado propensos a otorgar causalidad (es decir, a generar ilusiones causales), lo cual sería perjudicial para la comprensión del mundo, ya que se juzgarían como relacionados eventos que no lo están. Este autor, afirma que una de las primeras capacidades de las personas es organizar la experiencia en términos de causalidad para facilitar la cognición de modo transversal o en variados dominios.

Desde la Teoría de los Modelos Mentales, Goldvarg y Johnson-Laird (2001) discuten la noción de *causalidad ingenua o intuitiva* y proponen una teoría causal basada en modelos mentales; es decir la representación del mundo basado en nuestra experiencia en él. Aquí estas teorías surgen para aquellos que están por fuera de la causalidad física; es decir la causalidad mental. Las mentes, siendo esencialmente sin extensión, no puede cumplir con el requisito de contacto; sin embargo, debe dársele algún papel de las

propiedades mentales o descripciones mentales a la causalidad (Kim, 2007; Pérez, 1999; Goldvarg & Johnson-Laird, 2001).

## **CAUSALIDAD Y MECANISMO EN LAS CIENCIAS**

Aunque se suele considerar la nueva física de Galileo como una línea divisoria bien marcada, lo cierto es que Galileo combinó la parte de experimentación con la del razonamiento deductivo, derivada de la lógica aristotélica (Koyre, 1980). Pero antes de Galileo, la noción de causa tiene por motivo principal dar razón de las cosas mismas; desde Galileo la noción de causa da razón de variaciones y desplazamientos, en tanto que susceptibles de medida y expresables matemáticamente.

Sin embargo, el termino parece estar asociado a "mecanismo" en el siglo XVII y deriva de los términos griego y latino "máquina" (Dijksterhuis 1961). Descartes entendió la mecánica como el componente básico del mundo físico y propuso explicar diversos fenómenos del mundo natural como el movimiento planetario, las mareas, el movimiento de la sangre y las propiedades de la luz. Pero como se puede apreciar en diversos libros de historia de la ciencia (Bowler & Morus, 2005; Fara, 2009; Sánchez Ron, 2006; Solbes, 2002), fue el éxito de las leyes de Newton durante más de dos siglos el que contribuyó a formar una nueva concepción sobre la materia, el "mecanicismo", que consideraba la materia constituida por partículas en movimiento sometidas a fuerzas (a distancia, centrales, inversas en el cuadrado de la distancia). Subyacente a esta visión está la idea de que todo cambio puede, en último término, reducirse a movimientos mecánicos de las partículas que constituyen la materia. En 1812, Laplace propuso su determinismo en el que, sabiendo las velocidades y posiciones de todas las partículas del mundo en un instante determinado, podría calcular todo lo que había ocurrido en el pasado y todo cuando debería ocurrir en el futuro. Esto pone de manifiesto que el mecanicismo se trata de una concepción claramente determinista.

El mecanicismo influyó en las restantes ciencias resaltando por lo general el papel de la experimentación y de las matemáticas. En particular, contribuyó positivamente a la termodinámica al relacionar el calor con el movimiento de las partículas de los cuerpos; en la química, al apoyar el atomismo, al que se oponían muchos químicos del siglo XIX, siendo defendido por la mayor parte de los físicos. En óptica apoyó el modelo corpuscular frente al ondulatorio; en electromagnetismo, favoreció los trabajos de Coulomb, Ampère, Biot y Savart, que utilizaron fuerzas a distancia. Todo esto permitió que en el XVIII se abordaran problemas más complejos y se desarrollaran nuevas ciencias como la calorimetría (Rumford, Black), la electricidad y el magnetismo (Franklin, Priestley, Coulomb), la química (Lavoisier), la geología (Werner, Hutton) y la biología (Buffon, Linneo).

Pero su influjo no se limitó a las ciencias, sino que también tuvo consecuencias en la política, la cultura y la religión, por su influencia en el pensamiento de autores destacados de la Ilustración, desde Voltaire a Kant. Así, Voltaire contribuyó a la difusión de Newton con sus "Elementos de la filosofía de Newton" (1738) y con el prefacio a la traducción francesa de los "Principia" hecha por Mme. Du Châtelet, A través de esos autores influye en el derecho natural de la Ilustración (la sociedad, al igual que la naturaleza, está regida por leyes "naturales", no divinas y, en consecuencia, la idea "rey por la gracia de Dios" no es suficiente para legitimar las monarquías y, en consecuencia, se justifica la Revolución francesa.

El mecanicismo que en su momento supuso un gran avance, se convirtió en una rémora, como puede comprobarse con los modelos mecanicistas ochocentistas. Kelvin en 1884 afirmaba: "No estoy satisfecho hasta haber construido un modelo mecánico del objeto que estoy estudiando. Si consigo hacer uno, comprendo; de lo contrario no". La teoría del campo electromagnético como un ente físico a través del cual se propagan las interacciones constituyó el primer golpe para el mecanicismo y, por eso, éste trató de transformarla. Así, para mantener una explicación mecánica del electromagnetismo (y de la luz) y de sus acciones contiguas se introducen los complicados modelos mecánicos del éter.

Por otra parte, el determinismo subyacente en el mecanicismo ha sido puesto en cuestión en el propio siglo XIX por la Teoría Cinética y la Mecánica estadística y, a principios del siglo XX, con mayor rotundidad, por la Física cuántica y, más recientemente, con el comportamiento caótico. Aunque la física relativista es causal no puede darse causalidad entre un evento y cualquier otro evento fuera del cono de luz del primero (Suárez y Villegas, 2018). En la física cuántica existen dos evoluciones dinámicas del estado cuántico, una es determinista (viene dada por la ecuación de Schrödinger), mientras que la otra es probabilística (dada por el postulado del colapso de la función de onda) (Sánchez Ron, 2006).

En el caso de la Biología, la gran diversidad de los fenómenos biológicos dificulta el establecimiento de una metodología de inferencia causal única para todas las ramas de esta ciencia. Muchos autores

defienden que, para dar cuenta de la complejidad de las relaciones causales en biología, ha de atenderse a la noción de mecanismo, derivada de las teorías causales de procesos. Esta noción pretende capturar la idea de que los fenómenos biológicos son producidos por un conjunto de entidades y actividades que interactúan de forma organizada y no reducible a sus componentes (Craver & Tabery, 2017).

Los debates al respecto siguen vigentes en todas las disciplinas; por ejemplo, en las ciencias biomédicas, Illari (2011), señala que el establecimiento de afirmaciones causales requiere evidencia mecanicista y lo indica con el siguiente ejemplo: el tirón de la palanca del inodoro provocó el flujo de agua, aquí y ahora; pero generalmente se requieren ensayos repetidos para respaldar una afirmación causal genérica, particularmente en las ciencias biomédicas. En estas ciencias, debido a la complejidad e integración de los mecanismos de regulación y control que se caracterizan por actuar entre sí, tanto dentro de la célula como del cuerpo, existen múltiples caminos causales. Las relaciones causales ciertamente existen en el dominio local, pero en tales circunstancias afirmar una relación causal entre esas variables sería muy superficial, por lo cual se requiere evidencia complementaria.

Russo y Williamson (2007), señalan que las ciencias de la salud hacen afirmaciones causales sobre la base de la evidencia, tanto de los mecanismos físicos como de las dependencias probabilísticas. En consecuencia, las ciencias de la salud requieren una teoría de la causalidad que unifique sus aspectos mecanicistas y probabilísticos. De la misma manera, afirma que no se debe confundir la relación causal en sí misma con los tipos de evidencia utilizados para respaldar las relaciones causales putativas. Estos autores, llaman la atención sobre la importancia de los mecanismos en la inferencia causal, pues establecer una afirmación causal no implica su verdad, las afirmaciones científicas están en permanente revisión, como parte de la naturaleza de las ciencias. Todo el trabajo científico está incompleto, ya sea de observación o experimental y está sujeto a ser trastornado o modificado por el avance del conocimiento (Sánchez Ron, 2006; Bhaskar, 2008).

Craver & Tabery (2017), señalan que la existencia de un mecanismo proporciona evidencia de la estabilidad de una relación causal, los mecanismos permiten generalizar una relación causal: mientras que una dependencia apropiada en los datos de la muestra puede garantizar una afirmación causal *C causa E* en la población de la muestra, pero se requiere un mecanismo plausible o una conexión teórica para garantizar la afirmación más general, *C causa E*. Por el contrario, los mecanismos también imponen restricciones negativas: si no hay un mecanismo plausible de C a E, es probable que cualquier correlación sea ilegítima.

Bunge (2004) afirma que un mecanismo es uno de los procesos en un sistema concreto que lo convierte en lo que es, los mecanismos son en gran parte imperceptibles, deben ser conjeturados. Señala que resultan de ser procesos en cosas materiales complejas, no en sus constituyentes individuales, por esto cuestiona lo establecido por Máchame, Darden y Craver (2000) en términos de entidades y actividades organizadas de manera que produzcan cambios regulares.

Glennan (2002) indica que un mecanismo es un sistema complejo que produce un comportamiento por la interacción de varias partes y puede caracterizarse por generalizaciones directas, invariantes y relacionadas con el cambio; describe un mecanismo como un sistema complejo que produce un determinado comportamiento por la interacción de una serie de partes, donde las interacciones entre las partes se pueden caracterizar por generalizaciones directas, invariantes y relacionadas con el cambio. También Bechtel y Abrahamsen: (2005: 423) señalan que "*Un mecanismo es una estructura que realiza una función en virtud de sus partes componentes, operaciones componentes y su organización. El funcionamiento orquestado del mecanismo es responsable de uno o más fenómenos*". Illari (2011) describe que un mecanismo para un fenómeno consta de entidades y actividades organizadas de tal manera que son responsables del fenómeno.

Como se vio anteriormente, se evidencia varias teorías que explican la causalidad, se observa una polisemia en su interpretación y varía de acuerdo al campo disciplinar, que va desde relaciones duales entre dos eventos, asociación, probabilidades, vínculos con acciones y motivos de la razón, hasta la multicausalidad. Esto mismo ocurre con el concepto de mecanismo asociado a partes de un sistema, que produce determinada acción. Se evidencia que es un término común en la ciencia; sin embargo, se presentan fuertes distinciones entre los mismos campos científicos, lo cual da lugar a que los mecanismos son dependientes del marco teórico que se utiliza para describir el conocimiento. De la misma manera, se identifican aspectos comunes que destacan los autores frente al concepto de mecanismo, por ejemplo, que están constituidos por al menos los siguientes: un fenómeno, partes, actividades y organización. También es habitual la afirmación de que un mecanismo proporciona evidencia de la estabilidad de una relación causal.

En el conocimiento científico sobresale un concepto que es frecuente y es el de mecanismos causales, al igual que la causalidad, da lugar a múltiples interpretaciones como se describe a continuación.

## MECANISMOS CAUSALES Y SU CONOCIMIENTO EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

Los mecanismos causales emergen a principios del siglo XXI, de la *filosofía mecánica* y surgió como un marco para pensar sobre los supuestos filosóficos que subyacen en muchas áreas de la ciencia, especialmente en la biología, la neurociencia y la psicología. Los filósofos que desarrollaron este marco eran, en comparación con los empiristas lógicos, practicantes también de la historia de la ciencia y tendían, en general, a centrarse en las ciencias biológicas más que en las físicas. Muchos nuevos mecanicistas desarrollaron su marco explícitamente como un sucesor de los tratamientos empiristas lógicos de la causalidad, los niveles, la explicación, las leyes de la naturaleza, la reducción, el descubrimiento. El enfoque surgió cuando los filósofos e historiadores de la ciencia comenzaron a romper con la práctica estándar de reconstruir la inferencia científica con las herramientas de la lógica y, en su lugar, abordar la investigación detallada de episodios reales de la historia de la ciencia (Bechtel & Abrahamsen, 2005; Craver & Tabery 2017).

Como ya hemos visto, Descartes entendió la mecánica como el componente básico del mundo físico. Posteriormente, la idea de mecanismo se ha transformado muchas veces para reflejar una comprensión en evolución de las fuerzas causales básicas en el mundo, a veces evitando la austeridad metafísica adoptada por Descartes y muchos de los primeros mecanicistas.

A partir de lo anterior, se adaptado el termino mecanismo causal, como los pasos que faltan “entre *x* e *y*, cuando *x* es la causa de *y*”; o de otro modo “*El medio por el cual x causa y*”. La idea esencial es la de un fenómeno mediador; anteriormente pasado por alto, que conecta adecuadamente la causa-*x* con el efecto. Sin embargo, alrededor de esta discusión surgen preguntas como ¿Qué es exactamente un mecanismo causal? ¿Es un mecanismo causal algo que realmente produce un efecto? Y, en cualquier caso, ¿Cuál es la diferencia entre un mecanismo causal y una causa? Son preguntas que se plantea Groff, (2017), quien hace cuestionamiento frente a los significados que se le han dado a los mecanismos causales; este autor indica que no hay claridad en su definición, dado que no se comprende la diferencia entre mecanismo causal y causalidad. También este autor, indica que las algunas de las definiciones, se refieren al criterio de observabilidad; por lo cual no hay claridad si las causas son o deben ser observables. Otras de las definiciones señaladas pasan por alto la cuestión de qué es la causalidad.

Machamer (2004), adopta una visión no reduccionista de que la causalidad debe entenderse en términos de actividades productivas. Las actividades son tipos de causas, como la atracción y repulsión magnética o los enlaces de hidrógeno. El hecho de que una actividad ocurra no depende de la frecuencia con que ocurra. Como se observa aquí Machamer define el concepto causalidad con similitud de características al de mecanismos causales. Bogen (2005) indica que los mecanismos causales son los procesos generativos, mediante los cuales el mismo elemento o elementos producen el mismo efecto en ocasiones sucesivas. La razón de esto es que estos procesos requieren que los mecanismos causales se entiendan de manera holística, combinando factores observables e inobservables que intervienen.

Gerring (2008, p 161), desde una revisión del concepto de mecanismo causal, resume algunas posiciones que considera de la siguiente manera: “*el camino o proceso por el cual se produce un efecto; un factor causal no observable; un factor causal fácil de observar; una explicación dependiente del contexto; una explicación universal; una explicación que presupone fenómenos altamente contingentes; etc.*”

Mahoney (2009), define un mecanismo causal como una causa última hipotética, necesariamente inobservable y productiva, que el investigador que la plantea cree que es real. Desde esta perspectiva, un mecanismo causal es aquel que da lugar a secuencias regulares de eventos. Machamer, Darden & Craver (2000, p 3); conocidos como “MDC”, indican que “*Los mecanismos son entidades y actividades organizadas de manera que produzcan cambios regulares desde las condiciones de inicio o establecimiento hasta las condiciones de terminación*”.

Craver (2007) señala que para que un mecanismo pueda proceder depende de la organización espacial y temporal de las entidades y afirma que comprender un mecanismo implica comprender cómo una actividad conduce a la siguiente a través de la distribución espacial de los componentes y de su participación en un patrón temporal de actividades de principio a fin.

Como se observa hay varias conceptualizaciones del mecanismo causal, en algunos casos se entiende como parte de la causa y en otros como un fenómeno en general. Sin embargo, en otros casos parece utilizarse indiferenciadamente del termino con causalidad, en algunas definiciones se interpreta que el mecanismo es una parte de la causa, una pequeña causa, su concepto también está asociado a las teorías generales de la causalidad, son procesos, intervenciones, secuencias, actividades que producen algo etc.

Son hipotéticos, inobservables, son poderes causantes de..., son cambios de inicio a fin. De manera general se establecen que los mecanismos causales, contienen al menos las siguientes características básicas de un mecanismo: (1) un fenómeno, (2) partes, (3) causas-actividades y (4) organización, (Glenan, 2002; Craver 2007; Craver & Tabery, 2017)

Los mecanicistas han estado en desacuerdo sobre cómo entender la causa en el mecanismo causal. Se han discutido cuatro formas de desglosar la causa en el mecanismo causal: cuentas de cantidades conservadas, cuentas mecanicistas, cuentas de actividades y cuentas contrafácticas. Al respecto, Glennan (2002), considera que la causalidad (al menos la causalidad no fundamental), se deriva del concepto de mecanismo: las afirmaciones causales son afirmaciones sobre la existencia de un mecanismo; por lo tanto, no se evidencia una claridad de si el mecanismo es un parte de un proceso causal o viceversa, por lo cual, no hay precisión si el mecanismo es un nivel superior a la causa o al contrario.

En el caso de la educación científica, se ha utilizado el marco MDC, para explicar la manera en que los estudiantes explican cosas en el aula. Al respecto Russ *et al.* (2008), propone el uso de este marco para caracterizar el discurso de los estudiantes; es decir lo que los estudiantes hacen y dicen cuando razonan sobre nuevos mecanismos para los fenómenos que observan. Estos autores, proponen nueve categorías, derivadas del marco de MDC, para reconocer el razonamiento mecanicista desde el análisis del discurso: (1) describir el fenómeno objetivo, (2) identificación de las condiciones de configuración, (3) identificación de entidades, (4) Identificación de actividades, (5) identificación de las propiedades de entidades, (6) Identificación de la organización de entidades, (7) encadenamiento atrás y adelante, (8) analogías (9) modelos animados.

Tolmie & Dündar-Coecke (2019), señalan que la comprensión de los mecanismos causales se ha ignorado en gran medida en trabajos anteriores sobre el aprendizaje de las ciencias, con estudios que normalmente evalúan múltiples aspectos del conocimiento de los niños o se centran en sus explicaciones, sin diferenciar entre explicaciones de factores, variables y mecanismo; resaltan la importancia de ayudar a los niños a visualizar las transformaciones involucradas en los procesos causales continuos. También indican que, en la actualidad, las lecciones de ciencias normalmente se centran en el 'qué' más que en el 'por qué', y no apoyan activamente tal pensamiento sobre los procesos causales. Por lo anterior, se ve la necesidad de que los niños visualicen las transformaciones de los estados de los objetos a lo largo del tiempo que están involucrados en los procesos causales y conceptualizarlos como una cadena sucesiva de interacciones. En su estudio, utilizan el termino mecanismos causales y los definen como los procesos generativos, mediante los cuales el mismo elemento o elementos producen el mismo efecto en ocasiones sucesivas. También, Dündar-Coecke *et al.* (2020) sugieren que la comprensión del mecanismo causal impacta en las habilidades de resolución de problemas. Carey (2002) y Cho y Jonassen (2012) coinciden que comprender los fenómenos científicos requiere aplicar las relaciones causales subyacentes que describen esos fenómenos.

Hanisch & Eirdosh (2020), argumentan como el mapeo causal puede ser una herramienta potencial en el aula para ayudar a los estudiantes y maestros a construir y reflexionar sobre marcos causales que vinculan los comportamientos de los organismos; describen como se pueden usar los mapas causales para visualizar tales vínculos entre mecanismos próximos. Dündar-Coecke *et al.* (2020), investigan sobre el desarrollo de la capacidad de los niños para predecir, observar y explicar procesos causales, hacen referencia al razonamiento sobre la causalidad como eventos, interacciones y la causalidad como procesos.

Como se evidencio anteriormente, la conceptualización de los mecanismos causales depende del campo disciplinar y hay un llamado a la necesidad de prestar atención a su análisis; sin embargo, no es clara como se están comprendiendo en el campo de la Educación Científica, dado que son bastantes teorías que explican su origen y en su mayoría son asumidas desde la perspectiva de la observación, regularidad o la noción de predicción. La pregunta que se puede plantear es ¿Qué papel le están dando los estudios de argumentación al desarrollo de este tipo de conceptos? En este sentido, lo que presentamos a continuación, se ofrece como un marco de propósito para resaltar su importancia en la educación científica. Asumimos el concepto de relaciones causales y su contribución al pensamiento crítico, dado que es un concepto más global y abarcador y se refiere aquello que da lugar a la correspondencia, la interacción entre sucesos o acontecimientos de fenómenos científicos.

## **RELACIONES CAUSALES Y PENSAMIENTO CRÍTICO**

El pensamiento crítico se ha fundamentado desde de la filosofía, la pedagogía, la psicología y la didáctica. En el caso de la filosofía se nos recuerda que la principal característica del pensamiento crítico es la duda, la sospecha, aplicada a todo y, en particular, a los discursos y/o acciones que reproducen y legitiman lo ya establecido. A la par, el abordaje filosófico ha contribuido a cuestionar la concepción mecanicista de la



ciencia que se muestra como verdadera y sin problemas, considerada incuestionable y nos alerta en la necesidad de no dejarnos guiar por pensamientos unidireccionales que no nos permite comprender múltiples manifestaciones culturales y sociales. Así, Descartes manifestaba que muchas de las cosas que a veces se admiten, resultan falsas y traen consecuencias en nuestras vidas (Descartes, 1637/2003).

La pedagogía crítica (Apple, 1986; Freire, 1970 y 1974) también ha dado aportes significativos al pensamiento crítico y ha sido una alternativa para alejarse de los reduccionismos conceptuales y dogmáticos. Esta tiene importancia en los procesos educativos para que las personas, en un ambiente liberador y de emancipación, piensen y valoren las realidades sociales.

En el caso de la psicología autores como Ennis (1985) señala una serie de habilidades necesarias para el pensamiento crítico como centrarse en la cuestión, analizar argumentos, plantear y responder cuestiones de clarificación, juzgar la credibilidad de las fuentes, observar y juzgar observaciones, deducción, inducción, juicios de valor, definir términos, identificar suposiciones, decisión e interacción con los otros. Por otra parte, Paul y Elder (2006), manifiestan que el pensamiento crítico permite mejorar la calidad de su pensamiento al apoderarse de las estructuras inherentes del acto de pensar y al someterlas a estándares intelectuales. Afirman que el pensamiento crítico es autodirigido, autodisciplinado, autorregulado, autocorregido y supone someterse a rigurosos esquemas de excelencia y dominio, consciente de su uso.

El Pensamiento crítico también ha sido objeto de reflexión en la didáctica de las ciencias, este permite tomar elementos que permiten cuestionar la necesidad de implicación en discusiones públicas acerca de asuntos importantes relacionados con la ciencia y la tecnología. Al respecto, Yager (1993) relaciona el pensamiento crítico con la capacidad de hacer elecciones racionales y juicios fundamentados como elementos de las decisiones que se emplean para resolver problemas. Jiménez-Aleixandre (2010) afirma que “*es la capacidad de desarrollar una opinión independiente, adquiriendo la facultad de reflexionar sobre la sociedad y participar en ella*”, (p. 39). Señala que tiene componentes de argumentación, como la búsqueda y uso de pruebas. También cuestiona la autoridad y destaca aspectos emancipadores, como la opinión independiente y el análisis crítico de discursos legitimadores. Vieira, Tenreiro-Vieira y Martins (2010) mencionan las capacidades de cuestionar la validez de los argumentos, rechazar conclusiones no basadas en razones válidas, detectar tendencias y errores de pensamiento, y evaluar la credibilidad de las fuentes de información. Smolin (2007) y Solbes (2013), señalan que el pensamiento crítico implica estar informado sobre el tema. Esto supone no limitarse al discurso dominante en los *mass media*, sino conocer posturas alternativas bien argumentadas. Para ello, debe ser capaz de analizar las pruebas que sustentan las diferentes posturas, teniendo en cuenta que éstas pueden ser interpretadas en función de intereses.

Desde ese mismo campo, en varias investigaciones (Solbes & Torres, 2012, 2013, Torres, 2014; Torres & Solbes, 2016), proponíamos que el pensamiento crítico es una necesidad para que las personas estructuren una manera de pensar propia, capaz de tomar posiciones frente a las situaciones sociales que viven y para tener un papel activo en las decisiones culturales y científicas. Por tanto, la formación en las instituciones universitarias debe constituir, necesariamente, una base de conocimientos sólidos contextualizados. Al respecto presentábamos como el avance de la ciencia ha estado vinculado al pensamiento crítico que desafía los discursos dominantes. Estos se fijan como verdades absolutas y, con ello, cierran espacios de discusión imposibilitando el avance del conocimiento. De la misma manera, el pensamiento crítico ha sido uno de los pilares fundamentales en los procesos educativos actuales. Por ello, es necesario poner en tela de juicio los argumentos y analizar todas las opiniones que hemos creído y empezar a cuestionar sus fundamentos (Torres, 2014). En Solbes y Torres (2012, 2013), se precisó el pensamiento crítico en el ámbito de las cuestiones sociocientíficas (CSC) como: Una forma propia de pensar, asumida desde la investigación en la veracidad de los argumentos, la formulación de juicios con evidencias, la toma de decisiones fundamentadas y su papel activo ante las situaciones sociales.

En las anteriores consideraciones se señala que la argumentación forma parte del pensamiento crítico, no solo por el hecho de utilizar pruebas para emitir enunciados fundamentados, sino también por la capacidad de crear enunciados y justificarlos adecuadamente. Toulmin (2007) publicó *The uses of argument* en 1958, donde expuso su modelo de argumentación, que ha sido ampliamente utilizado en diferentes ámbitos como herramienta de análisis y de evaluación de la misma. Para Toulmin argumentar es una actividad consistente en plantear aseveraciones, sometiéndolas a debate, produciendo razones para apoyarlas, criticar esas razones y refutarlas. Campaner (2004), afirma que, si se busca el desarrollo del pensamiento crítico desde las ciencias, se debería enseñar a identificar y a elaborar argumentos convincentes y coherentes con justificaciones y fundamentaciones, con el propósito de crear en los estudiantes hábitos de cuestionamiento y análisis de la información.

Brigandt (2016) proporciona algunas diferenciaciones entre explicaciones y argumentos y señala la necesidad de contribuir a que los estudiantes vean las explicaciones como algo más que hechos. Hace énfasis en que el objetivo de una explicación es proporcionar comprensión de por qué ocurre un fenómeno y el objetivo de un argumento es convencer a alguien de que una afirmación es verdadera. Formalmente, un argumento consta de premisas que se aducen para apoyar la conclusión, sugiere la necesidad de utilizar diferentes estándares de adecuación explicativa, de acuerdo a diferentes tipos de explicaciones. También, Osborne & Patterson (2012), indican que la diferencia radica en su función epistémica, pues la explicación, busca aclarar, generar esa sensación de mayor comprensión, mientras el argumento, busca justificar una pretensión de conocimiento o persuadir. De la misma manera Berland & Reiser (2009) señalan que es en el argumento donde razonamos lo que creemos que son premisas seguras hasta una conclusión tentativa, por lo cual la estructura de un argumento científico, usa afirmaciones defendidas con evidencia, para apoyar la construcción de la explicación de los estudiantes. Consideramos que hay que utilizar tanto la explicación como la argumentación según el contexto, para lograr un mejor aprendizaje del pensamiento crítico.

La cuestión en lo anterior, es donde quedan las relaciones causales en esos procesos de argumentación y explicación, pues es evidente que estas exigen más que datos y la identificación de causas. En este sentido es pertinente ver las relaciones causales en el marco de las explicaciones científicas, de acuerdo a Zangori, Forbes y Biggers (2013), es dar cuenta de un fenómeno de la naturaleza, donde se explica por qué o como sucedió algo o por qué un objeto tiene ciertas propiedades; estas contribuyen a motivar los esfuerzos explicativos de una persona y guían su aprendizaje, también prepara para la acción que es lo que busca el pensamiento crítico. Al respecto los estudiantes pueden discutir qué cambios no afectarían en absoluto el funcionamiento del fenómeno o qué manipulaciones modificarían su funcionamiento.

Desde nuestro punto de vista la necesidad de esas relaciones causales como parte del pensamiento crítico, en específico para desarrollar la competencia segunda: *Cuestionar la validez de los argumentos, detectando falacias, comprendiendo relaciones causales y rechazando conclusiones no basadas en pruebas*. Estas mismas relaciones causales contribuyen a la generación de conclusiones fundamentadas, que se proponía como quinta competencia en el estudio de (Solbes & Torres, 2012, 2013, Torres & Solbes 2016), relacionada con el planteamiento de conclusiones *adecuadamente sustentados que lleven a tomar decisiones fundamentadas a promover acciones para el mejoramiento de la calidad de vida y a ser capaces de transformar su realidad solucionando diferentes situaciones a nivel personal, familiar y laboral* (Torres, 2014, p. 43).

Desde esta perspectiva, se promueve la puesta en cuestión y el examen de los fenómenos cotidianos, y para ello es indispensable la comprensión de las relaciones causales, que orienta en la insistencia que debe hacerse en la profundidad para la interpretación de los problemas, dejándose de lado el conformismo, las explicaciones superficiales y los prejuicios personales. Por el contrario, se deben utilizar principios causales, revisión de la información, posturas creativas e inquietantes que permitan superar visiones neutrales y cerradas. Desde los aportes que hacen los filósofos y los científicos al pensamiento crítico, se hace un llamado al constante cuestionamiento de las creencias. En la época actual existe una sociedad muy tecnificada que, en muchos casos, evita preguntarse el porqué y el cómo de las cosas, no distingue la veracidad de los argumentos. Esta sociedad acepta fácilmente información sin evidencias como, por ejemplo, el efecto milagroso de los productos cosméticos y los artefactos tecnológicos (Torres, 2014)

En este escenario, en las clases de ciencias interesa enseñar las explicaciones causales, porque contribuyen a la interpretación de fenómenos físicos y naturales. El estudio de la causalidad tiene que ver con la falsedad y las condiciones de verdad, se caracteriza por la búsqueda de explicaciones a los hechos, nos ayuda a verificar explicaciones ingenuas conceptos erróneos y cambiarlas por explicaciones más fundamentadas y acopladas.

Para ello hay que plantearle al alumnado CSC que impliquen pseudociencias como la astrología y pedirles que expliquen cómo pueden influir las constelaciones en la vida cotidiana, que cuestionen pseudocausas como la “memoria del agua” de la homeopatía o la influencia de la conciencia en la curación cuántica o que busquen pruebas contra las afirmaciones de los industriales defensores del glifosato (Solbes, 2019), para que así distingan la verdadera causalidad de la espuria o la pseudocausalidad. En esta perspectiva, el análisis de las relaciones causales, puede contribuir a superar la aceptación de las pseudociencias no solo aceptadas por los estudiantes (Miguel, dos Santos, Mendes de Souza, 2022) sino también por los docentes (Solbes, Palomar, & Dominguez-Sales, 2018); por lo tanto, deben ofrecer procesos de instrucción para promover condiciones de distinguir las buenas explicaciones científicas de las pseudo explicaciones. Se reconoce así la importancia de los mecanismos y las relaciones causales, que contribuyen a defender la capacidad de fundamentación, de manera que evitan sacar falsas conclusiones por intuición; por ejemplo, en el caso del origen del COVID, una mala interpretación de los datos llega a conclusiones

erradas. Las relaciones causales contribuyen a la explicación y son de interés porque solo una comprensión de las relaciones causales subyacentes puede respaldar las predicciones sobre cómo se comportará un sistema cuando esté sujeto a una intervención.

También es necesario enseñar al alumnado acerca de las falacias de la causalidad. Por ejemplo, la falacia “correlación no implica causalidad” (o “cum hoc”) que se comete al inferir que existe una relación causal entre dos eventos A y B por haberse observado una correlación estadística entre ellos. La falacia de “dirección incorrecta o causalidad inversa” es un tipo específico de la anterior que se comete cuando se infiere una relación causal entre dos eventos correlacionados, y resulta que el efecto fue tomado por la causa, y la causa por el efecto. Un ejemplo: para explicar la gran correlación entre cáncer de pulmón y tabaco, las compañías tabacaleras sugirieron que el cáncer hacía que la gente fumara para aliviar los dolores. O la falacia “post hoc” en la que, si un acontecimiento sucede después de otro, el segundo es consecuencia del primero. Se constituye en una falacia porque viene de sacar una conclusión basándose solo en el orden de los acontecimientos. Es decir, no siempre es verdad que el primer acontecimiento produjo el segundo acontecimiento. La causalidad va más allá una intervención en X resulta en un cambio en Y, pero una intervención en Y no necesariamente resulta en un cambio en X, como bien lo señala Pearl y Mackenzie (2018), los mismos datos dan conclusiones contradictorias dependiendo de cómo se miren.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

De lo expuesto anteriormente, se observa que las investigaciones reconocen la importancia de la causalidad, lo cual implica referirse a la manera en que la ciencia construye explicaciones con base a la experimentación y la observación. Sin embargo, no siempre se aplica en estos casos dado que puede quedarse en aspectos de indagación y mera descripción. Interesa también comprender y poder explicar que, como y porque una causa provoca un efecto o efectos particulares. Esto conduce a que las relaciones causales contribuyen a comprender mecanismos internos del fenómeno. Por lo cual, debe procurarse una explicación lógica de los eventos que constituyen un fenómeno o un mecanismo. También es necesario que identifiquemos que son las *relaciones* causales, pues estas nos ayudan a conocer y no se puede entender ni explicar lo que no se conoce.

Abordar las relaciones causales debe dársele un papel importante en los procesos de la educación científica, porque implica valorar el cómo y el por qué ocurre un efecto y en consecuencia brinda información sobre el fenómeno y contribuye a procesos de explicación y argumentación científica más sólidos, además se constituye en un paso para comprender los procesos de investigación científica experimental porque proporciona conocimiento para identificar condiciones bajo las cuales ocurre o no un efecto.

Como argumentábamos si nuestro compromiso de la educación científica es contribuir a desarrollar pensamiento crítico, es importante que los estudiantes y los docentes comprendan las relaciones causales para promover la puesta en cuestión y el examen de los fenómenos cotidianos, rechazar conclusiones no basadas en pruebas, cuestionar la validez de los argumentos y detectar falacias. Esto los prepara para emitir juicios propios, evidentes como resultado de cuestionamientos, confrontaciones de puntos de vista, búsqueda de procesos de indagación frente a problemas, ideologías e información que dan apertura a espacios dialógicos y críticos como una forma de manifestación e intervención social.

Sin embargo, dado la pluralidad del uso de las relaciones causales y considerando que no se puede hablar de causalidad desde una sola perspectiva en la educación científica, es necesario pensar la causalidad en los procesos metales y cognitivos y en aquellos casos en los que no la podemos percibir, ya que se basan casi únicamente sobre relaciones conceptuales de nivel abstracto, pues no puede reducirse solo a dimensión física que son observables y se han caracterizado por poder ser directas, siendo también las primeras de importancia notable en los procesos de aprendizaje.

**Nota:** Este artículo hace parte de una investigación pos-doctoral realizada en el Programa de Posgrado en Educación de la Universidad Federal del Triángulo Mineiro (UFTM, Brazil), y es el resultado de la colaboración entre investigadores de Colombia, Brasil y España.

## REFERENCIAS

- Ahn, W. K., Kalish, C. W., Medin, D. L., & Gelman, S. A. (1995). The role of covariation versus mechanism information in causal attribution. *Cognition*, 54(3), 299-352. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)00640-7](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)00640-7)
- Apple, M. W. (1986). *Ideología y currículo*. Madrid, España: Akal.
- Bechtel, W., & Abrahamsen, A. (2005). "Explanation: A Mechanistic Alternative", *Studies in History and Philosophy of the Biological and Biomedical Sciences*, 36,421–441. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2005.03.010>
- Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93, 26–55. <https://doi.org/10.1002/sce.20286>
- Bhaskar, R. (2008). *A Realist Theory of Science*. New York and Oxon: Routledge
- Bowler, P. J., & Morus, I. R. (2005). *Panorama general de la ciencia moderna*, Barcelona, España: Crítica
- Brigandt, I. (2016). Why the difference between explanation and argument matters to science education. *Science & Education*, 25(3), 251-275. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9826-6>
- Bunge, M. (2004). How does it work? The search for explanatory mechanisms. *Philosophy of the Social Sciences* (34), 182–210. <https://doi.org/10.1177/0048393103262550>
- Campaner, G. (2004). *La argumentación en clases de Educación Ambiental*. Trabajo de investigación tutelado para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados. Universidad Autónoma de Madrid.
- Craver, C. (2007). *Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*, Oxford: Clarendon Press.
- Craver, C., & Tabery, J. (2017): "Mechanisms in Science", en *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E. N. Zalta (Ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/science-mechanisms/>
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, 70(5), 1098 – 1120. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>
- Davidson, D. (1967). Causal Relations. En D. Davidson. *Essays on Actions and Events*. Oxford: Clarendon Press (pp. 149-162).
- Della Rocca, M. (2008). *Spinoza*. New York and Oxon: Routledge
- Descartes, R. (2003). *Discurso del método* (Vol. 39). Ediciones Colihue SRL.
- Ennis, R. (1985). A logical basis for measuring critical thinking skills. *Educational Leadership*. 43(2), 44- 46. <https://eric.ed.gov/?id=EJ327936>
- Disessa, A. A. (2014). The construction of causal schemes: Learning mechanisms at the knowledge level. *Cognitive science*, 38(5), 795-850. <https://doi.org/10.1111/cogs.12131>
- Dijksterhuis, E. J. (1961). *The Mechanization of the World Picture*. Oxford, Oxford University Press.
- Dündar-Coecke, S., Tolmie, A., & Schlottmann, A. (2020). Children's reasoning about continuous causal processes: The role of verbal and non-verbal ability. *British Journal of Educational Psychology*, 90(2), 364-381. <https://doi.org/10.1111/bjep.12287>
- Ellis, B. (2001). *Scientific Essentialism*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fara, P. (2009). *Breve historia de la ciencia*. Barcelona, España: Ariel.
- Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*, Buenos Aires, Argentina: Siglo XXI.
- Freire, P. (1974). *La educación como práctica de libertad*. Buenos Aires, Argentina: Siglo XXI.
- Gerring, J. (2008). Review Article: The Mechanismic Worldview: Thinking Inside the Box. *British Journal of Political Science*, 38, 161-179. <https://doi.org/10.1017/S0007123408000082>
- Glennan, S (2002). "Rethinking Mechanistic Explanation", *Philosophy of Science*, 69, S342–S353. <https://doi.org/10.1086/341857>
- Goldvarg, E., & Johnson-Laird, P. N. (2001). Naive causality: a mental model theory of causal meaning and reasoning. *Cognitive Science*, 25, 565-610. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog2504\\_3](https://doi.org/10.1207/s15516709cog2504_3)

- Gopnik, A., Sobel, D. M., Schulz, L. E., & Glymour, C. (2001). Causal learning mechanisms in very young children: Two-, three-, and four-year-olds infer causal relations from patterns of variation and covariation. *Developmental Psychology*, 37(5), 620 – 629. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.37.5.620>
- Groff, R. (2017). Causal mechanisms and the philosophy of causation. *Journal for the Theory of Social Behaviour*, 47(3), 286-305. <https://doi.org/10.1111/jtsb.12118>
- Hanisch, S., & Eirdosh, D. (2020). Causal mapping as a teaching tool for reflecting on causation in human evolution. *Science & Education*, 30(4), 993-1022. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00157-z>
- Hume, D. (1975). *Enquiries Concerning Human Understanding and Concerning the Principles of Morals*; Reprinted from the 1777 Edition and with Introduction and Analytical Index by L. A. Selby-Bigge, (3th Ed.) Oxford and New York: Oxford University Press.
- Illari, P. M. (2011). Mechanistic evidence: disambiguating the Russo–Williamson thesis. *International Studies in the Philosophy of Science*, 25(2), 139-157. <https://doi.org/10.1080/02698595.2011.574856>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona, España: Graó.
- Kant, I. (1787/2008). *Crítica de la razón pura*. [Traducción Pedro Ribas]. Madrid, España: Taurus.
- Kuhn, D. (1993). Connecting scientific and informal reasoning. The Development of Rationality and Critical Thinking, a special issue of the *Merrill-Palmer Quarterly*, 39(1), 74 103. <https://www.jstor.org/stable/23087301>
- Kim, J. (2007). Causation and Mental Causation. En B. McLaughlin & J. Cohen (Eds.) *Contemporary debates in philosophy of mind* (pp.227-2443). Singapur: Blackwell
- Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence: The development of scientific reasoning*. Cambridge, United States of America: MIT Press.
- Koyre. A. (1980). *Estudios galileanos*. Madrid, España: Siglo XXI Editores.
- Leslie, A., Friedman, O., & German, T. (2004). Core mechanisms in `theory of mind`. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(12), 528-533. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.10.001>
- Lewis, D. (1973). *Cozmtweifac.tuals*. Oxford, Basil Blackwell,.
- Machamer, P., (2004), “Activities and Causation: The Metaphysics and Epistemology of Mechanisms”, *International Studies in the Philosophy of Science*, 18, 27-39. <https://doi.org/10.1080/02698590412331289242>
- Machamer, P., Darden, L., & Craver, C. F. (2000). Thinking about mechanisms. *Philosophy of science*, 67(1) , 1-25. <https://www.jstor.org/stable/188611>
- Mahoney, J. (2003). *Tentative Answers to Questions about Causal Mechanisms*. Presented at American Political Science Association annual meeting in Philadelphia, United States of America.
- Miguel, M. L., dos Santos, L. J., & Mendes de Souza, L.A. (2022). Algumas percepções de estudantes do ensino médio sobre ciências, pseudociência e movimentos anticientíficos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 27(1), 191-222. <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n1p191>
- Mumford, S., & Anjum, R. (2010). A Powerful Theory of Causation. In A. Marmodoro (Ed.), *The Metaphysics of Powers: Their Grounding and their Manifestations*. New York and Oxon: Routledge
- Osborne, J. F., & Patterson, A. (2012). Authors’ response to “For whom is argument and explanation a necessary distinction? A response to Osborne and Patterson” by Berland and McNeill. *Science Education*, 96, 814–817. <https://doi.org/10.1002/sce.21034>
- Oliveira, C. M. A., & Carvalho, A. M. P. (2005). Escrevendo em aulas de ciências. *Ciência & Educação (Bauru)*, 11(3), 347-366. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132005000300002>
- Paul, R., & Elder, L. (2006). *The miniature guide to critical thinking concepts and tools*. Foundation for critical thinking. [http://www.criticalthinking.org/files/Concepts\\_Tools.pdf](http://www.criticalthinking.org/files/Concepts_Tools.pdf).
- Pearl, J., & Mackenzie, D. (2018). *The book of why: The new science of cause and effect*. New York, United States of America: Basic Books.
- Pérez, D. (1999). *La mente como eslabón causal*. Buenos Aires, Argentina: Catálogos.



- Piaget, J. (1967). *El juicio y el razonamiento en el niño*. Buenos Aires, Argentina: Guadalupe.
- Premack, D. & Premack, J. (1995). Intention as psychological cause. En D. Sperber, D. Premack & A.J. Premack (Eds.) *Causal Cognition: A Multidisciplinary Debate* (pp. 185-200). New York: Oxford University Press.
- Psillos, S. (2002). *Causation & Explanation*. Montreal and Kingston: McGill-Queen's University Press.
- Pulido, W. Q. (2002). Causalidad física: procesos causales y cantidades conservadas. *Revista de filosofía*, 58, 79-99.
- Russ, R. S., Scherr, R. E., Hammer, D., & Mikeska, J. (2008). Recognizing mechanistic reasoning in student scientific inquiry: A framework for discourse analysis developed from philosophy of science. *Science education*, 92(3), 499-525. <https://doi.org/10.1002/sce.20264>
- Russo, F., & Williamson, J. 2007. Interpreting causality in the health sciences. *International Studies in the Philosophy of Science* 21, 157-170. <https://doi.org/10.1080/02698590701498084>
- Sánchez, F. P. (2012). La búsqueda de las relaciones causales: el desafío del ejercicio diario de un epidemiólogo. *Revista Médica de Risaralda*, 18(2), 165-171. <http://www.scielo.org.co/scielo.php>
- Sánchez Ron, J.M. (2006) *El poder de la ciencia*. Madrid, España: Crítica
- Schlottamnn, A. (2001). Perception versus Knowledge of Cause and Effect in Children: When Seeing in Believing. *Current Directions in Psychological Science*, 10(4), 111-115. <https://www.jstor.org/stable/20182715>
- Solbes, J. (2002). *Les empreintes de la ciência*, Alzira: Germania
- Solbes, J. (2013). Contribución de las cuestiones socio-científicas al desarrollo del pensamiento crítico (i): introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(1), 1-10. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2791>
- Solbes, J. (2019). Cuestiones socio-científicas y pensamiento crítico: Una propuesta contra. las pseudociencias, *Tecne, Episteme y Didaxis*, 46, 81- 99
- Solbes, J., & Torres, N. (2012). Análisis de las competencias de pensamiento crítico desde el aborde de las cuestiones sociocientíficas: un estudio en el ámbito universitario. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, (26), 247-269. <https://doi.org/10.7203/dces.26.1928>
- Solbes, J., & Torres, N. Y. (2013). ¿ Cuáles son las concepciones de los docentes de ciencias en formación y en ejercicio sobre el pensamiento crítico?. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (33), 61-85. <https://doi.org/10.17227/01213814.33ted61.85>
- Solbes J. S., Palomar, R., & Dominguez-Sales, M. C. (2018). To what extent do pseudosciences affect teachers? A look at the mindset of science teachers in training. *Mètode Science Studies Journal*, 8, 188-195. <https://doi.org/10.7203/metode.8.9943>
- Suárez, M., & Villegas, C (2018): "Causalidad en la ciencia", *Enciclopedia de la Sociedad Española de Filosofía Analítica* <http://www.sefaweb.es/causalidad-en-la-ciencia/>
- Smolin, L. (2007). *Las dudas de la física en el siglo XXI*. Barcelona, España: Crítica.
- Tolmie, A., & Dündar-Coecke, S. (2019). A short-term intervention improved children's insights into causal processes. *The Psychology of Education Review*, 43(2). <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10086857/>
- Torres, N. Y., & Solbes, J. (2016). Contribuciones de una intervención didáctica usando cuestiones sociocientíficas para desarrollar el pensamiento crítico. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 34(2), 43-65. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1638>
- Torres, N. Y. (2014). *Pensamiento crítico y cuestiones socio-científicas: Un estudio en escenarios de formación docente*, (Tesis doctoral.). Universitat de València, España. <https://roderic.uv.es/handle/10550/36116>
- Toulmin, S. (2007). *El uso de la argumentación*. Barcelona, España: Península.
- Vieira, M. R., Tenreiro-Vieira, C., & Martins, E. (2010). Pensamiento Crítico y literacia científica. *Alambique*, 65, 96-104.
- Woodward, J. (2009) Agency and Interventionist Theories. In. H. Beebe, C. Hitchcock, & P. Menzies (Eds.), *The Oxford Handbook of Causation* (pp. 234-262). Oxford: Oxford University Press.

Yager, R. E. (1993). Science and critical thinking. In Clarke, J.H. & Biddle, A.W. (Eds.), *Teaching critical thinking: Reports from across the curriculum*. Englewood Cliffs, NJ, United States of America: Prentice Hall

Zangori, L., Forbes, C. T., & Biggers, M. (2013). Fostering student sense making in elementary science learning environments: Elementary teachers' use of science curriculum materials to promote explanation construction. *Journal of Research in Science Teaching*, 50, 989–1017. <https://doi.org/10.1002/tea.21104>

**Recebido em:** 23.06.2022

**Aceito em:** 20.11.2022