

Revisión y revalorización del concepto de obstáculo epistemológico para la enseñanza de las Ciencias Naturales

Reviewing and revaluating the concept of epistemological obstacle for the teaching of Natural Sciences

 Leonardo Martín González-Galli^{1,2}

 Gastón Mariano Pérez²

 Betina Ayelén Cupo²

 Cinthia Karen Alegre²

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina
Autor Correspondiente: leomgalli@ccpems.exactas.uba.ar

²Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Investigaciones (CeFIEC), Buenos Aires, Argentina.

Resumen: En este trabajo se analiza el concepto de obstáculo epistemológico desde su origen en la obra de Gaston Bachelard hasta las distintas formas que adquirió en la didáctica de las ciencias naturales. A partir de dicho análisis se identifican algunos problemas teóricos, especialmente el uso demasiado amplio que se hace de la expresión 'obstáculo epistemológico', y se propone una definición que busca superar dichos problemas. A partir de dicha definición se sugiere como principal objetivo didáctico el desarrollo de una 'vigilancia metacognitiva' sobre los obstáculos epistemológicos. Luego se analiza la relación entre el concepto de obstáculo epistemológico y las nociones de concepción, modelo y sesgo cognitivo, concluyendo que ninguna de éstas puede reemplazar al primero. En las conclusiones se exponen las razones por las cuales el concepto de obstáculo epistemológico resulta de gran valor tanto para investigación en didáctica de las ciencias naturales como para la práctica de la enseñanza.

Palabras clave: Enseñanza de las ciencias; Didáctica de las ciencias; Epistemología; Filosofía de la ciencia.

Abstract: This paper analyzes the concept of epistemological obstacle since its origin in the work of Gaston Bachelard to the different forms it has acquired in the didactics of natural sciences. From this analysis, some theoretical problems are identified, especially the overly broad use of the expression 'epistemological obstacle' and a definition is proposed that seeks to overcome these problems. Based on this definition, the development of a 'metacognitive vigilance' on epistemological obstacles is suggested as the main didactic objective. The relationship is analyzed between the concept of epistemological obstacle and the notions of conception, model and cognitive bias, to conclude that none of these can replace the first. In the conclusions, the reasons are presented why the concept of epistemological obstacle is of great value both for research in the didactics of natural sciences and for teaching practice.

Keywords: Science education; Epistemology; Philosophy of science.

Recibido: 13/5/2022

Aprobado: 3/8/2022



Introducción

El concepto de obstáculo epistemológico (OE) surgió en el ámbito de la filosofía como una noción central en la obra de Gaston Bachelard y luego fue transpuesto al ámbito de la didáctica de las ciencias naturales (DCN). Dicha transposición tuvo algunas particularidades. En primer lugar, esta noción tuvo un fuerte impacto en la DCN francesa y, desde allí, en la española para luego, a través de esta, influir en la latinoamericana. Sin embargo, la literatura en DCN del mundo angloparlante ha ignorado (casi) por completo el concepto de OE: son pocos los artículos en revistas especializadas en didáctica del mundo anglosajón que recurren al marco de los OE y, en general, las y los autores de dichos artículos son de Europa o Latinoamérica (por ejemplo, GONZÁLEZ GALLI; PÉREZ; GÓMEZ GALINDO, 2020; QUILEZ, 1997). En segundo lugar, en ese derrotero el término fue tomando diversos significados, de modo que se terminó llamando 'obstáculo epistemológico', o simplemente 'obstáculo', a prácticamente cualquier factor que dificultara el aprendizaje de cierto contenido científico. En definitiva, se terminó utilizando este término en su sentido coloquial. En tercer lugar, en la DCN de habla inglesa fueron ganando fuerza algunos conceptos derivados de la psicología cognitiva que convergen en cierta medida con el de OE. En síntesis, en el ámbito de la DCN francesa, española y latinoamericana se utilizan los términos 'obstáculo epistemológico' u 'obstáculo' de un modo muy impreciso al tiempo que en el mundo angloparlante se habla en ocasiones de algo bastante semejante, pero sin utilizar la misma terminología y sin hacer referencia alguna a fuentes bibliográficas francesas, españolas o latinoamericanas. Estas divergencias entre las tradiciones del mundo anglosajón y las de Europa continental y Latinoamérica tienen algunas consecuencias negativas. Entre ellas, la principal es teórica, y se refiere a que la proliferación de términos diferentes para referirse a una misma idea e, inversamente, el hecho de designar distintas nociones con el mismo término, solo puede entorpecer la comunicación y el avance de la investigación.

En función de lo antes expuesto, los objetivos de este artículo son: (1) reseñar el concepto de OE de Bachelard y sus diferentes versiones en uso en la DCN, (2) proponer una caracterización del concepto de OE que permita no confundirlo con el sentido coloquial del término 'obstáculo' ni con otros conceptos de la DCN o la psicología cognitiva, (3) analizar las relaciones entre el concepto de OE y algunos otros conceptos de la DCN, y (4) argumentar en relación con la utilidad y necesidad del concepto de OE, tal como será definido en (2), para la docencia y la investigación.

El concepto de obstáculo epistemológico en la obra de Bachelard y en la didáctica de las ciencias naturales

Los obstáculos epistemológicos según Gaston Bachelard

El concepto de OE fue introducido por Gaston Bachelard en 1938 en su obra *La formación del espíritu científico* (BACHELARD, 2004). Para Bachelard, tanto en la historia de la ciencia como en el aprendizaje individual, el conocimiento es producto de un proceso de construcción. Lo principal para el tema que nos ocupa es que, para este autor, como señala Camilloni (2001, p. 12), "[...] el obstáculo epistemológico es lo que se sabe y que, como se sabe, genera una inercia que dificulta el proceso de construcción de un saber nuevo que es, precisamente, lo que constituye el acto de conocer". Así, el progreso solo se

logra mediante 'rupturas epistemológicas' que suponen 'desaprender' lo que ya se sabía. Bachelard destaca, además, la fuerte discontinuidad entre el conocimiento cotidiano y el científico, ya que para este autor aprender implica un 'verdadero arrepentimiento intelectual'. Este filósofo no desprecia totalmente el conocimiento cotidiano, más cercano a lo sensorial y a las representaciones de sentido común, ya que entiende que esa forma de conocimiento juega un rol importante en la construcción del conocimiento científico. Sin embargo, propone que, en definitiva, dicha construcción requiere el abandono del conocimiento cotidiano. Estas ideas, centrales en su obra, las aplicó tanto para pensar la historia de la ciencia como así también cuestiones asociadas a la pedagogía.

El concepto de obstáculo epistemológico en la didáctica de las ciencias naturales

Posteriormente, el concepto de OE fue retomado en la didáctica de las ciencias naturales francesa, especialmente por autores como Jean Pierre Astolfi, Jean Louis Martinand o Michel Develay (ASTOLFI, 1994, 1999a, 1999b, 2000, 2001; ASTOLFI; DEVELAY, 1989; MARTINAND, 1986). La trasposición que hacen estos autores desde Bachelard a la DCN posee dos aspectos relevantes. El primero es que marcan algunas diferencias con la noción del filósofo francés que poseen importantes implicaciones didácticas. El segundo es que se utilizó la expresión 'obstáculo epistemológico' para referirse a diferentes entidades. A continuación, abordaremos ambas cuestiones. En sus escritos Astolfi utiliza el término de un modo – a nuestro juicio – demasiado amplio. En lugar de una definición precisa, Astolfi (1999a), siguiendo a Fabre, ofrece una caracterización de acuerdo con la cual los principales rasgos de los OE son:

1. Interioridad. El obstáculo no es, contra lo que su etimología sugiere, algo externo, sino que es algo interno al sujeto que aprende, y constituye un aspecto constitutivo del propio acto de conocer.
2. Facilidad. El OE es, para la mente del aprendiz, más una facilidad, una 'comodidad intelectual' que una dificultad. Y es por ello por lo que el aprendizaje requiere una ruptura epistemológica, una 'catarsis', una verdadera conversión mental.
3. Positividad. El OE no consiste en el 'vacío de la ignorancia' sino en una forma de conocimiento disponible que impide la construcción de otros nuevos.
4. Ambigüedad. El OE es una fuente potencial de errores, pero, al mismo tiempo, es una herramienta necesaria para el aprendizaje.
5. Polimorfismo. Los OE son transversales (funcionan en relación con diversos dominios de contenido). Así, un mismo obstáculo puede subyacer a varias representaciones 'locales'. Los OE son además proteiformes, esto es, presentan distintas dimensiones: no se limitan a lo racional, sino que también tienen una carga simbólica que se expresa en dimensiones afectivas, emocionales, míticas, etc.
6. Recurrencia. Los OE sólo pueden identificarse retrospectivamente, una vez que han sido superados. Pero, cabe preguntarse si realmente se superan o si sólo se identifican (esto último implica un proceso metacognitivo).

Comenzamos por señalar que esta caracterización ya marca una diferencia importante entre la noción bachelardiana de OE y la de la DCN: mientras que para la primera el OE constituye un factor principalmente negativo en relación con el aprendizaje y se busca su eliminación, para la segunda el OE también tiene funciones positivas (es 'ambiguo') y, además, y por definición, no es eliminable (ASTOLFI; PETERFALVI, 2001; DE VECCHI; GIORDAN, 2006).

Este cambio de perspectiva resulta mucho más coherente con las evidencias disponibles que apuntan a la dificultad (o imposibilidad) de eliminar ciertas concepciones. Esta última cuestión, que retomaremos más adelante, está relacionada con las limitaciones de las versiones fuertes de la teoría del cambio conceptual que pretenden un reemplazo de concepciones (DUIT, 2006; POZO, 2014).

Tanto la caracterización de Astolfi como la de otros autores franceses como Johsua y Dupin (2005) sugieren que el OE constituye *cierto tipo de representación* o concepción¹. Sin embargo, esta conclusión no es tan clara cuando se analizan las clasificaciones de distintos tipos de obstáculos y los ejemplos que Astolfi y otros autores ofrecen. Así, por ejemplo, Astolfi (1999b), volviendo a Bachelard, menciona la 'primacía de la percepción' como un OE. Este factor podría considerarse un aspecto del funcionamiento cognitivo que favorece la construcción de ciertas concepciones que funcionan como OE, pero es difícil considerarlo en sí mismo como una concepción y, por lo tanto, como un OE. Por su parte, Astolfi y Develay (1989), a partir del análisis de la historia de la noción de fecundación, distinguen: 'obstáculos conceptuales' (por ejemplo, la dificultad para entender el espermatozoide y el óvulo como dos células equivalentes), 'obstáculos psicológicos e ideológicos' (las ideas sobre los roles femeninos y masculinos en la sociedad que influyeron en la investigación sobre este tema), y 'obstáculos ideológicos y teológicos' (el peso de la doctrina cristiana en este tema). Pero, para Astolfi y Develay (1989), aún otros factores podrían funcionar como obstáculos, por ejemplo, el peso de personalidades y de tradiciones culturales, las luchas de prestigio. Mientras se puede entender que los modos de concebir los roles sociales de varones y mujeres, en tanto concepciones, funcionen como OE, resulta difícil hacer lo propio con 'las luchas de prestigio'. Por su parte, Gagliardi (1988) propone que existen obstáculos lógicos, afectivos o psicológicos y epistemológicos, aunque aclara que, en realidad, la incapacidad para construir un nuevo conocimiento implica necesariamente los tres tipos de obstáculos. Finalmente, Johsua y Dupin (2005) distinguen obstáculos ontogenéticos (derivados del desarrollo psicogenético), didácticos (resultado artificial de decisiones didácticas desafortunadas) y epistemológicos (sistema de conceptos que limitan el aprendizaje).

En función de la reseña anterior, podemos decir que no es clara la manera en que los principales autores más cercanos a la tradición de la DCN francesa hablan sobre los OE. Por ejemplo, surge la pregunta de si estos autores están hablando de concepciones propiamente dichas o más bien de aspectos o dimensiones de estas (como parece ser el caso de Gagliardi, 1988). O, en otros casos, de aspectos cognitivos que resultan en la construcción de ciertas concepciones.

Si en los destacados autores recién mencionados el uso de la expresión 'obstáculo epistemológico' no resultó del todo precisa, cuando analizamos cómo utilizan esta expresión otros autores la confusión resulta aún mayor. Por ejemplo, Carvalho *et al.* (2004) estudiaron los OE para el aprendizaje del sistema digestivo en estudiantes de educación primaria en Portugal. En sus conclusiones estos autores mencionan cuatro obstáculos: (1) la anatomía del tubo digestivo. El cambio conceptual se observa después de la enseñanza; (2) la digestión de un alimento sólido; (3) pasaje del alimento digerido a la sangre; y (4) las conexiones entre el estómago, el intestino delgado y el intestino grueso. Los tres primeros serían OE, el tercero y el cuarto serían 'obstáculos didácticos' (el tercero sería tanto

¹Mientras que en DCN suele hablarse de *concepciones* en psicología cognitiva es más frecuente el término *representaciones*: aquí utilizaremos ambos como sinónimos.

epistemológico como didáctico). A pesar de que estos autores utilizan explícitamente el marco teórico de los OE, lo que señalan como tales no constituyen, en muchos casos y de acuerdo con cómo los enuncian, concepciones, sino que, más bien, parecen referirse a lo que podríamos llamar 'núcleos problemáticos' (ÁLVAREZ PÉREZ; HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ; ESPARZA SORIA, 2017) de los modelos a aprender. Por ejemplo, *el pasaje del alimento digerido a la sangre* es un aspecto del modelo científico cuyo aprendizaje resulta muy dificultoso, pero, así enunciado, no constituye una concepción de quien aprende.

Mencionaremos un último problema que, a nuestro juicio, existe en relación con el uso de la noción de OE en la literatura actual en DCN. Hemos visto que el concepto de OE sufrió algunos cambios importantes en la transposición desde la obra de Bachelard a la DCN. Sin embargo, siguen siendo frecuentes los trabajos en DCN (ver, por ejemplo, ARCINIEGAS *et al.*, 2019; FREITAS; CHASSOT, 2017; MORA ZAMORA, 2002) que se basan en la noción de obstáculo de Bachelard sin hacer referencia a las reelaboraciones que dicho concepto sufrió en la DCN. Así, por ejemplo, Arciniegas *et al.* (2019) analizan los OE en relación con la noción de teoría científica en estudiantes universitarios apelando solo a textos de Bachelard, excepto por una mención a la obra de Giordan y De Vecchi (1988 apud ARCINIEGAS *et al.*, 2019, p. 1826). En sus conclusiones estos autores mencionan como OE cosas tales como "[...] el estudiante tiene un limitado uso del lenguaje científico y de la lengua española [...]" (ARCINIEGAS *et al.*, 2019, p. 1823-1824) – a esto lo llaman 'obstáculo verbal'. Nuevamente, este factor no puede identificarse con una concepción. Otro ejemplo es el trabajo sobre enseñanza de la fotosíntesis de Dimov, Pechliye y Jesus (2014) en el que relacionan el concepto de OE con el de 'perfil conceptual', noción trabajada por el investigador brasileño Eduardo Mortimer. Estos autores también se basan directamente en la obra de Bachelard. Así, al igual que en el ejemplo anterior, Dimov, Pechliye y Jesus (2014, p. 24, traducción nuestra) hacen referencia a un 'obstáculo verbal' que, según estos autores señalan, citando a Bachelard, consistiría en "[...] palabras marcadoras que son entendidas como una explicación total". Podríamos interpretar que el OE consiste en cierta concepción muy influenciada, sesgada o restringida por el uso de determinado término. Esto es muy posible, y es interesante como objeto de investigación. Sin embargo, no es eso lo que dicen las y los autores para quienes, explícitamente, el obstáculo es el término en cuestión. Podríamos brindar otros ejemplos de este tipo, pero los presentados bastan para ilustrar los dos problemas que señaláramos antes: tanto el término *obstáculo* como la expresión, más específica, 'obstáculo epistemológico' se usan de modos diversos para referirse a entidades muy diferentes y, muchas veces, se toma como principal o única referencia teórica a Bachelard ignorando las reformulaciones didácticas posteriores. A estas observaciones podría replicarse que la distinción entre distintos tipos de obstáculos soluciona el problema que estamos señalando, pero, como discutiremos en las conclusiones, no creemos que este sea el caso.

Una posible definición de obstáculo epistemológico y su abordaje didáctico

Dado el panorama descrito en la sección previa se ha considerado conveniente proponer una definición de OE que resulte clara y útil tanto para la investigación en DCN como la práctica de la enseñanza. De acuerdo con la caracterización propuesta en González Galli y Meinardi (2016) un OE sería una concepción que presenta las siguientes características:

1. Es relativamente transversal.
2. Es cognitivamente funcional.
3. Es didácticamente conflictiva.

El primer punto se refiere a que la concepción en cuestión debe estar implicada en los razonamientos en relación con un conjunto de tópicos relativamente amplio. Tomando un ejemplo presentado por Astolfi (1994), la concepción según la cual *los gases no son materia* podría afectar tanto razonamientos relacionados con temas de Biología (por ejemplo, fotosíntesis) como otros relacionados con la Fisicoquímica (por ejemplo, los cambios de estado de la materia). El segundo punto hace referencia a que el OE cumple una función importante en la estructura cognitiva del sujeto, en el sentido de que se trata de una concepción que tiene un gran poder explicativo, predictivo y heurístico. Siguiendo con el mismo ejemplo, considerar que los gases no son materia explica por qué, en general y desde un punto de vista intuitivo muy apegado a lo sensorial, el aire no se ve ni ofrece resistencia al movimiento. Es esta funcionalidad la que explica por qué los OE nunca desaparecen totalmente: el sujeto construye las concepciones – que eventualmente funcionarán como OE – en respuesta a ciertas necesidades cognitivas. Dado que dichas necesidades están ligadas a problemas propios de los contextos cotidianos es poco probable que las concepciones asociadas se vuelvan en algún momento innecesarias. Y aún en ese caso, es probable que estén tan integradas en la estructura cognitiva general que aun así persistan. Por último, el tercer punto se refiere a que para funcionar como un OE una concepción debe, además de ser transversal y funcional, dificultar de algún modo el aprendizaje de cierto modelo científico que, desde el punto de vista de quien enseña, se considera en algún sentido superador con respecto a las ideas del sentido común. Esto último ocurre porque el OE puede ser una parte central del modelo intuitivo del aprendiz. En el ejemplo, la concepción de que los gases no son materia ofrece una explicación satisfactoria para la o el estudiante de diversos fenómenos, lo que hace innecesaria, y por lo tanto obtura, la construcción del modelo atómico de la materia. Así, podríamos pensar que el OE compite con el modelo a enseñar y que, en tal sentido, es conflictivo para el aprendizaje.

Íntimamente ligadas a esta caracterización de los OE están las posibles estrategias didácticas que se proponen para abordarlos. Siguiendo a Astolfi y Peterfalvi (2001), se puede decir que, si bien hay modos muy diversos de abordar el tratamiento didáctico de los OE, todas las estrategias tienen tres aspectos en común. En primer lugar, es necesario desestabilizar el OE, esto es, quien aprende debe tomar conciencia de las limitaciones que el OE impone a su capacidad para dar cuenta de ciertos fenómenos. En segundo lugar, se debe producir una reconstrucción conceptual, en el sentido de que quien aprende debe construir un modo alternativo de pensar que supere las limitaciones impuestas por el OE. En tercer lugar, la o el estudiante debe ser capaz de identificar el OE, es decir, debe ser capaz de reconocer sus múltiples expresiones.

Dado que los OE nunca desaparecen, su 'superación' no consistiría en una eliminación definitiva sino más bien en la capacidad de regular el OE en cuestión. En diversos trabajos se ha profundizado esta cuestión, y se ha propuesto la noción de 'vigilancia metacognitiva' (GONZÁLEZ GALLI; PÉREZ; GÓMEZ GALINDO, 2020; PETERFALVI, 2001) que consistiría en que la o el estudiante sea capaz de (i) saber en qué consiste el OE; (ii) reconocer sus múltiples y diversas expresiones (en producciones propias y de terceros), y; (iii) regular el uso del OE de acuerdo con el contexto, con sus objetivos cognitivos, y teniendo como referencia

teórica los modelos científicos aprendidos. Para ilustrar esta noción, analizaremos el caso del pensamiento finalista o teleológico, entendido como la concepción según el cual todo existe y es como es para alcanzar ciertos fines predeterminados. Esta concepción funciona como OE en numerosas situaciones didácticas (GONZÁLEZ GALLI; MEINARDI, 2015). Según la noción de 'vigilancia metacognitiva' la o el estudiante debería (i) comprender en qué consiste el pensamiento teleológico; debería también (ii) darse cuenta de que, por ejemplo, la expresión *Juan metió el helado en el refrigerador con el fin de que no se derritiera* es tan teleológica como la menos explícita *Juan metió el helado en el refrigerador para que no se derritiera* o, yendo a un ejemplo clásico en enseñanza de la Biología, la frase *las bacterias mutaron para resistir al antibiótico*. Finalmente (iii), quien aprende debería ser capaz de evaluar que mientras en el ejemplo de Juan el razonamiento teleológico no supone problema alguno (ya que aceptamos que las personas somos agentes intencionales que concebimos fines y adecuamos nuestra acción a dichos fines) en el caso de las bacterias resulta inaceptable porque es contradictorio con ciertos modelos científicos (en este caso, los modelos de la Biología que, entre otras cosas, nos dicen que las mutaciones se producen de un modo aleatorio).

La definición de OE propuesta no pretende ser totalmente original: en gran medida, es una reelaboración de aquella propuesta, de modo más o menos explícito, por los didactas franceses que partieron del concepto original de Bachelard y con la que se adopta en muchas investigaciones (por ejemplo, MARZÁBAL; MERINO; ROCHA, 2014; PESSANHA; PIETROCOLA, 2013).

Dos ejemplos paradigmáticos de obstáculos epistemológicos

En esta sección describiremos dos concepciones que, aunque se encuentran en el extremo de máxima transversalidad, se expresan de un modo especialmente claro en el dominio de la Biología (ROSENGREN *et al.*, 2012). Estos ejemplos nos servirán para ilustrar los análisis posteriores.

De acuerdo con el pensamiento teleológico todas las entidades existen y son como son para alcanzar ciertos fines predeterminados (KELEMEN, 2012). Este modo general de ver el mundo puede concretarse en concepciones más específicas. Así, podemos mencionar ejemplos relacionados con las ciencias naturales tales como *las bacterias mutan para hacerse resistentes a los antibióticos* o *en una solución el soluto se mueve desde donde está más concentrado hacia donde está menos concentrado para homogeneizar la concentración*. No es difícil ver por qué estas concepciones finalistas pueden funcionar como OE cuando se propone enseñar un modelo científico (GONZÁLEZ GALLI, PÉREZ; GÓMEZ GALINDO, 2020). Su transversalidad queda en evidencia con los ejemplos mencionados, tanto del área de la Biología como de la Química. En cuanto a su funcionalidad, por ejemplo, en el ámbito de la Biología la teleología tiene un gran poder predictivo, porque los organismos y sus partes parecen de hecho perseguir fines como consecuencia de que muchos de sus rasgos son adaptativos (producto de la selección natural) (DENNETT, 1991). Así, suponer, por ejemplo, que una planta busca conseguir agua (una meta) nos permite predecir exitosamente que las raíces crecerán hacia donde el suelo está más húmedo. Pero, con frecuencia, estas concepciones resultarán contradictorias con algunos modelos científicos, es decir, resultarán conflictivas: las mutaciones se producen al azar, por lo que las bacterias no sufrirán preferencialmente aquellas mutaciones que necesitan para ser resistentes a los antibióticos.

Por su parte, el pensamiento esencialista involucra suponer que existen ciertas categorías reales (no son creaciones humanas) y que estas categorías poseen una fuerza causal subyacente inmutable (la esencia) que es responsable de y explica las propiedades de todas las entidades pertenecientes a esa categoría (GELMAN; RHODES, 2012). Como en el caso de la teleología, también aquí es evidente la transversalidad: tanto la idea según la cual *las especies no pueden cambiar*, como aquella según la cual *un individuo debe necesariamente pertenecer a una u otra especie*, como la intuición de que *las diferencias entre los individuos de una misma especie son despreciables*, son expresiones del pensamiento esencialista.

También resulta clara su funcionalidad: si un sujeto se encuentra con un ratón puede predecir que le gustará el queso, porque eso es parte de las características necesarias de todo miembro de esa categoría, aunque en realidad haya ciertos ratones que no gusten de ese alimento. En cuanto a la conflictividad, las tres ideas mencionadas como ejemplos son claramente contradictorias con la teoría de la evolución: las especies cambian, y dado que dicho cambio es continuo y gradual siempre habrá individuos cuya asignación a una u otra especie será muy problemática, y las pequeñas diferencias entre los individuos son clave para la evolución. En la biología intuitiva, el esencialismo suele suponer que la esencia de un organismo reside en su genotipo. Desde dicha concepción, los genes determinan los rasgos del organismo, lo que lleva al determinismo genético, una concepción científicamente errónea con implicancias especialmente problemáticas (GERICKE; EL-HANI, 2018).

Relaciones con otros conceptos de la didáctica de las ciencias naturales

Obstáculos epistemológicos y concepciones

De acuerdo con la definición propuesta en el apartado anterior, podemos decir que si bien todo OE es una concepción no toda concepción es un OE (ASTOLFI, 1994). En efecto, numerosas concepciones podrían no cumplir con uno o más de los tres rasgos que definen los OE. Ahora bien, se plantean algunos problemas tales como qué tan transversal debe ser una concepción para que pueda considerarse un OE, o cómo determinar si la concepción en cuestión es funcional. En relación con estos problemas, sugerimos que una dada concepción no constituye un OE de un modo intrínseco sino más bien contextual. Por ejemplo, ¿podría la idea (científicamente errónea) según la cual *las plantas se alimentan de la tierra* considerarse un OE? Creemos que eso dependerá de factores contextuales, tales como los demás componentes de la estructura cognitiva del sujeto, que determinan el alcance y funcionalidad de esa idea, así como de las intenciones didácticas de la o el docente. Cada docente deberá analizar en contexto qué concepción puede estar funcionando como un OE en su clase. Si la o el docente infiere, a partir del análisis de sus clases y de la literatura de investigación disponible, que varias concepciones 'locales' especialmente recurrentes pueden interpretarse como expresiones de una única concepción más general subyacente, y si parece que dicha concepción (reñida con cierto modelo científico a enseñar) juega un rol importante en las explicaciones y argumentaciones de las y los estudiantes, entonces estará justificado tratar dicha concepción como un OE.

Obstáculos epistemológicos y modelos

Existen diferentes conceptos de *modelo*, algunos propuestos desde la psicología y otros desde la epistemología. Nos limitaremos aquí a señalar que es importante distinguir al menos tres significados: los modelos mentales – propios de cada sujeto (JOHNSON-LAIRD, 1983); los modelos científicos – compartidos en la comunidad científica; y los modelos científicos escolares (ADÚRIZ-BRAVO; ARIZA, 2014; ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO-AYMERICH, 2009; SANMARTÍ, 2002). Para nuestra discusión, el más pertinente es el concepto de modelo mental, desarrollado especialmente por Johnson-Laird (1983). Desde este enfoque, se habla de modelos para hacer referencia a representaciones de gran alcance o conjuntos de representaciones relacionadas que son parte de la estructura cognitiva del sujeto. Los modelos funcionan como una suerte de 'simulador' mental de ciertos aspectos del mundo, y guardan con estos una relación analógica (JOHNSON-LAIRD, 2002). Así, cuando leemos *tigre*, el término evoca inmediatamente una serie de imágenes mentales (un felino de color anaranjado, con rayas negras, etc.) asociadas al modelo que tenemos de ese animal. El modelo tiene numerosos componentes (no solo descriptivos sino también valorativos y de otro tipo), y nos permite predecir acontecimientos y tomar decisiones (TAMAYO ALZATE, 2009). Por ejemplo, si alguien nos dice que dentro de cierto recinto hay un tigre es probable que, en base a nuestro modelo, decidamos sensatamente no ingresar a dicho recinto. Las personas construimos modelos sobre todos aquellos aspectos del mundo que nos resultan relevantes.

Hemos definido los OE como un caso especial de concepciones, y hemos visto que los modelos mentales constituyen un tipo de representación. Ahora nos preguntamos entonces si todos los modelos son OE y si todos los OE son modelos. Con respecto a la primera cuestión, podríamos decir, siempre de acuerdo con la definición propuesta, que, si bien algunos modelos podrían funcionar como OE, otros no lo harán, por ejemplo, por no dificultar el aprendizaje de un modelo científico a enseñar. En cuanto a la segunda cuestión, los modelos siempre son modelos de algo, y, tal como mencionamos, son análogos de la entidad representada (ADÚRIZ-BRAVO; ARIZA, 2014). Teniendo presentes estas especificaciones, y volviendo a un ejemplo ya citado, podríamos preguntarnos en qué sentido el pensamiento teleológico (un OE) podría considerarse un modelo: ¿de qué sería un modelo? ¿cuál sería el sistema del mundo real representado y análogo?

Consideramos que los modelos (como, por ejemplo, el modelo de ser vivo) son entidades más complejas que la simple idea de que los seres vivos están dirigido a ciertos fines y a la vez más específicas (dan cuenta de alguna parcela específica del mundo). En este sentido, la teleología y el esencialismo no podrían considerarse modelos en sí mismos sino más bien componentes del modelo intuitivo de ser vivo. Este modo de entender el lugar que ocupa un OE en relación con un modelo es consistente con el marco de la modelización escolar, desde el que se sugiere que los modelos que construyen las y los estudiantes no sólo están constituidos por elementos conceptuales, sino que agrupan, además, otros elementos tales como los fenómenos de los que los modelos dan cuenta, los experimentos que les dan sentido, el lenguaje utilizado, entre muchos otros (GÓMEZ GALINDO; SANMARTÍ, PUJOL, 2007; SANMARTÍ, 2002). Siguiendo esta línea, los OE podrían entonces considerarse como otros elementos posibles que están incluidos en los modelos.

El análisis presentado sugiere que concepciones tales como el esencialismo y la teleología constituyen OE, pero no modelos. Así, el pensamiento teleológico parece más bien una concepción general sobre el mundo (especialmente sobre el dominio biológico) que podría ser parte de numerosos modelos. Por lo tanto, los OE pueden entenderse como concepciones más acotadas en cuanto a su complejidad (se pueden resumir en un enunciado breve, como vimos para el caso de la teleología) pero que pueden ser más transversales que los modelos en cuanto a su alcance. Así, no parece justificada la identificación entre las nociones de OE y de modelo mental.

Obstáculos epistemológicos, restricciones cognitivas, sesgos cognitivos y heurísticas

El concepto de sesgo cognitivo surgió del ámbito de la psicología cognitiva y fue popularizado por la obra del psicólogo Daniel Kahneman (KAHNEMAN, 2019). Aunque no existe una única definición de sesgo cognitivo, en general la idea se refiere a ciertos modos de procesar la información y de tomar decisiones que se apartan de lo que lo que racionalmente sería correcto (BLANCO, 2017). Según Blanco (2017, traducción nuestra) "[...] El sesgo cognitivo se refiere a una desviación sistemática (es decir, no aleatoria y, por tanto, predecible) de la racionalidad en el juicio o la toma de decisiones". También se utiliza, más o menos como sinónimo, la expresión 'restricción cognitiva' (EVANS; ROSENGREN, 2018; TALANQUER, 2009). Por ejemplo, Talanquer (2009, p. 2124, traducción nuestra) define restricción cognitiva como "[...] elementos de un sistema de conocimiento que guían y facilitan procesos cognitivos al tiempo que restringen el rango posible de dichos procesos". Otro concepto relacionado es el de 'heurística', según Blanco (2017, traducción nuestra), "[...] una heurística es una regla simple que no pretende captar el problema en toda su complejidad o llegar a la solución óptima, sino que produce una solución 'suficientemente buena' con rapidez y minimizando el esfuerzo".

No es difícil ver cierto parecido de familia entre estas nociones y la de OE, especialmente considerando la definición de Talanquer (2009) quien, no casualmente, es investigador en DCN. A modo de ejemplo paradigmático, podemos mencionar el *sesgo de confirmación*, que, en palabras de Pinker (2021, p. 35-36) consiste en "[...] el mal hábito de buscar pruebas que ratifiquen una creencia y mostrar indiferencia hacia las evidencias que podrían refutarla". No resulta difícil imaginar que estos sesgos dificulten ciertos aprendizajes. Por ejemplo, es esperable que este sesgo dificulte la consideración de evidencias contrarias a las concepciones preinstruccionales en un diseño didáctico basado en el cambio conceptual (DUIT, 2006; POZO, 2014).

Estas ideas están muy ligadas a los llamados *modelos de la mente o proceso dual* (EVANS, 2010; KAHNEMAN, 2019; POZO, 2014) de acuerdo con los cuales la mente humana tendría dos modos de funcionamiento. Uno, *el sistema 1* (en términos de Kahneman), funcionaría de un modo más bien automático, no regulado conscientemente por el sujeto, por lo que funciona rápido y no requiere esfuerzo. El otro, *el sistema 2*, solo se activaría cuando el sujeto enfrenta alguna situación problemática, y requeriría un mayor esfuerzo cognitivo, lo que, además, lo haría más lento. En este marco, los sesgos cognitivos podrían entenderse como modos de pensar propios del sistema 1. El sistema 1 se activa con más facilidad y se impone con frecuencia en el pensamiento (POZO, 2014). Esta cuestión es de gran relevancia para pensar la enseñanza de las ciencias naturales, ya que supone que como docentes tendremos, de algún modo, que 'forzar' la intervención del sistema 2 para

que tenga lugar la construcción de modelos contraintuitivos como son los científicos. Esto último supone un control del sistema 2 sobre el sistema 1 que podemos asociar a la noción de vigilancia metacognitiva que mencionamos antes.

Ahora debemos abordar preguntas análogas a las que formulamos para el caso de los modelos: ¿podemos afirmar que todo sesgo cognitivo constituirá, además, un OE?, ¿podemos suponer que todo OE será, además, un sesgo cognitivo? Para analizar la primera cuestión tomemos el ejemplo del sesgo de confirmación: ¿en qué sentido dicho sesgo podría considerarse una concepción y, más específicamente, un OE? ¿de qué sería una representación el sesgo de confirmación? Este caso nos permite afirmar que al menos algunos sesgos cognitivos no pueden considerarse OE, y eso basta para sostener que ambos son conceptos diferentes. Sin embargo, como ya dijimos, no hay una única definición de sesgo cognitivo, y los ejemplos analizados en la literatura amplían en ocasiones el alcance de la definición antes comentada. Esto último supone que algunos sesgos cognitivos sí podrían considerarse concepciones y, más específicamente, OE. Tal vez los casos más relevantes – para la enseñanza de las ciencias naturales – en relación con esta última observación lo constituyen los ejemplos ya analizados del pensamiento teleológico y el esencialista. Ambos son considerados sesgos cognitivos por algunas autoras y autores. En palabras de Evans y Rosengren (2018, p. 12, traducción nuestra) "[...] dos sesgos cognitivos clave restringen el razonamiento biológico, el esencialismo y la teleología, y ambos pueden considerarse modos de razonamiento intuitivo dentro del marco de proceso dual". Muchas otras investigaciones abonan esta afirmación (EVOLUTION..., 2020; GELMAN; RHODES, 2012; SETTLAGE, 1994, entre otros). Como vemos, la distinción entre *modos de razonar* y *concepciones* (o representaciones) se vuelve aquí algo difusa. Estas concepciones consideradas sesgos cognitivos constituyen al mismo tiempo ejemplos paradigmáticos de OE (ver, entre otros, GONZÁLEZ GALLI; MEINARDI, 2015; GONZÁLEZ GALLI; GÓMEZ GALINDO; PÉREZ, 2020; GONZÁLEZ GALLI *et al.*, 2018). Aunque las expresiones de estos sesgos cognitivos / OE son especialmente evidentes y frecuentes en el dominio biológico su alcance no se restringe a dicho dominio, sino que son parte de concepciones relacionadas con prácticamente todos los dominios de conocimiento – ver, por ejemplo, Talanquer (2009) para el caso del esencialismo en química.

Así, mientras algunos sesgos cognitivos no podrían considerarse OE (por ejemplo: el sesgo de confirmación), otros sí podrían y deberían considerarse como tales (por ejemplo: el pensamiento teleológico y el esencialista). Sin embargo, y en relación con la segunda cuestión, resulta evidente que muchas concepciones, como la ya mencionada idea de que *los gases no son materia*, consideradas OE, no se corresponden con ningún sesgo cognitivo.

Discusión y conclusiones generales

Hemos señalado que la expresión 'obstáculo epistemológico' se utiliza de modos muy diversos, lo que dificulta precisar el alcance del concepto. Algunos de estos usos podrían defenderse a partir de la distinción entre diferentes tipos de obstáculos. Así, como vimos, Dimov, Pechliye y Jesus (2014) hablan de un 'obstáculo verbal', y no 'epistemológico'. Creemos, sin embargo, que esa aclaración no resuelve el problema porque elimina toda especificidad para el término *obstáculo*. En efecto, en tal caso, 'obstáculo' se convierte en sinónimo de *cualquier factor que dificulta el aprendizaje*. Semejante grado de generalidad lleva a la necesidad de clasificar los obstáculos, con el problema de que tales clasificaciones serán

siempre incompletas y, en gran medida, arbitrarias y, por lo tanto, divergentes. Esto resulta claro al analizar las diferentes clasificaciones, ya mencionadas, ofrecidas por Astolfi y Develay (1989), Gagliardi (1988) o Johsua y Dupin (2005). Por esta razón, sugerimos que es conveniente restringir el uso del término *obstáculo* para hacer referencia a los OE.

También hemos comentado el hecho de que muchas investigaciones en DCN remiten directamente a la obra de Bachelard sin hacer referencia a las reformulaciones que el concepto de OE sufrió en el ámbito de la didáctica. Señalamos, además, que en la literatura en inglés prácticamente no se menciona la idea de OE, pero que se utilizan otros conceptos que se superponen parcialmente con dicha idea. Ello nos llevó a analizar si algunos de esos conceptos utilizados en la literatura en inglés podrían considerarse como sinónimos de OE. Dada la predominancia de los medios de comunicación científica en idioma inglés, de una respuesta afirmativa a esta última cuestión se podría inferir la conveniencia de abandonar la noción de OE en favor de aquellas más utilizadas y aceptadas en el ámbito internacional. Nuestros análisis nos llevaron a concluir que ninguno de los conceptos utilizados en la literatura en inglés sobre DCN puede, en rigor, considerarse equivalente al de OE. Sin embargo, de aquí no se sigue que esos otros conceptos sean irrelevantes. De hecho, consideramos que son muy importantes y necesarios para la identificación de OE. En relación con esta cuestión, hemos hecho referencia a que lo que constituye un OE depende en gran medida de factores contextuales. Pero si a esta idea no agregamos algunos criterios para la identificación de OE corremos el riesgo de que cualquier concepción se considere y trate como un OE. En este sentido, el intento de la o el docente de identificar qué concepciones están funcionando como OE debería estar informado por la literatura pertinente. Entre las disciplinas que podrían dar pistas sobre la presencia de ciertos OE están la historia de la ciencia, ya que existe cierto paralelismo limitado entre las ideas de las y los estudiantes y algunas ideas de la historia de la ciencia (GIORDAN; DE VECCHI, 2006) y las epistemologías específicas que revelan los aspectos problemáticos de los modelos científicos (KAMPOURAKIS, 2013). Por supuesto, la investigación en DCN debería ser una fuente principal en la búsqueda de estas pistas. A esto agregamos que la investigación en psicología sobre sesgos cognitivos debería tener también un lugar destacado. Dado que dichos sesgos son muy transversales y probablemente universales es altamente probable que estén en la base de muchos de OE. Por ejemplo, a los mencionados casos de la teleología y el esencialismo podemos agregar el pensamiento causal lineal (pensar que todo fenómeno es consecuencia de una única causa precedente), otro sesgo cognitivo que se expresará en las concepciones intuitivas del estudiantado en relación con amplia diversidad de temas (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2004) y que, por lo tanto, sería muy fructífero tratar como un OE. Luego, la pregunta sobre si concepciones más específicas (como la ya mencionada en relación con la nutrición vegetal) constituyen o no un OE deberá ser respondida atendiendo a factores contextuales. De este modo, a la vez que adoptamos una perspectiva contextual y, por lo tanto, flexible en relación con la identificación de los OE, sostenemos la necesidad de tener especialmente en cuenta aquellos modos de razonar que, dada las evidencias ya disponibles, es altamente probable que funcionen como OE en un gran número de contextos de aprendizaje. En cualquier caso, lo importante es comprender que no cualquier concepción científicamente errónea constituirá un OE. Esto es importante porque la superación de un OE podría convertirse en el principal objetivo de toda una unidad didáctica, por eso Astolfi (2001) habla de 'objetivo-obstáculo', y no

cualquier concepción merece tanto esfuerzo por parte de quien enseña y de quien aprende. Así, la noción de OE nos permite seleccionar sobre qué modos de pensar es más pertinente desarrollar una 'vigilancia metacognitiva' para aprender cierto modelo, lo que puede constituirse en un organizador principal para el diseño de intervenciones didácticas.

Por supuesto, del reconocimiento de que el concepto de OE no es equivalente a ningún otro concepto de la DCN o de la psicología no se sigue que la idea de OE sea necesaria o conveniente. Por ello, a continuación, argumentaremos por qué consideramos que ese es el caso.

En primer lugar, la noción de OE nos permite entender de un modo fructífero la naturaleza de los errores de las y los estudiantes en el aprendizaje. Desde esta perspectiva, los errores (sobre todo aquellos especialmente recurrentes) se entienden como expresiones de ciertos OE subyacentes (ASTOLFI, 1999a, 2000, 2001). Así, los errores 'locales', lejos de evidenciar una 'falla' en el pensamiento de quien aprende, se convierten en valiosos indicadores de las concepciones, más generales e implícitas, que será necesario 'sacar a la luz' y convertir en objeto de análisis explícito para aprender los modelos científicos.

En segundo lugar, cabe mencionar que la cuestión planteada en relación con el valor de la noción de OE, considerando la existencia de otros conceptos de la psicología cognitiva con los que comparte un cierto parecido de familia, puede enmarcarse en el problema más general sobre las relaciones entre la DCN y la psicología (CARRETERO, 2004). Más específicamente, este tema nos remite a la crítica al 'aplicacionismo', esto es, la tendencia a extrapolar y aplicar directamente nociones construidas en el ámbito de la psicología a la DCN (LENZI, 2008). El principal problema con este 'aplicacionismo' es que los conceptos forjados en la psicología se construyeron en relación con problemas (teóricos o pragmáticos) diferentes de aquellos que preocupan a la DCN, por lo que difícilmente dichos conceptos resulten adecuados para la didáctica. Luego, está la cuestión de la 'validez ecológica' de los resultados obtenidos por la psicología cognitiva, es decir, la validez de la extrapolación de resultados obtenidos en condiciones de laboratorio a las situaciones en las salas de clases. Sin dudas, la DCN debe estar *informada por* la investigación en psicología del aprendizaje, pero no puede consistir en una aplicación directa de esta última al ámbito de la enseñanza. El reconocimiento actual del estatus epistemológico de la DCN como ciencia autónoma (ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO AYMERICH, 2002) es consistente con la existencia de conceptos y modelos que le son propios, entre ellos el de OE.

En tercer lugar, y en relación con lo discutido en el párrafo previo, una fortaleza del concepto de OE para la DCN y la enseñanza es su carácter contextual, en el sentido de que el hecho de que una dada concepción se considere un OE dependerá de factores propios de cada situación didáctica concreta. Esto podría parecer, a priori, una debilidad, ya que implica cierta indefinición sobre qué es un OE y qué no lo es, y es el reconocimiento de este problema el que nos llevó a destacar la importancia de atender a la literatura de investigación pertinente. Creemos que el ejercicio de la docencia requiere la toma de decisiones acordes a los objetivos de aprendizaje y a las circunstancias en que la enseñanza tiene lugar. Si la identificación de los OE definirá aspectos importantes del proceso de enseñanza, entonces, poder definir los obstáculos atendiendo al contexto se convierte en una virtud.

Una cuarta razón por la que el concepto de OE es valioso para la enseñanza de las ciencias es que ofrece un marco teórico a partir del cual concebir estrategias didácticas orientadas a cómo actuar en las aulas en relación con ciertas formas de pensamiento que no es razonable esperar que desaparezcan. Pero esta guía solo existe en la medida en que se parte de una noción precisa y restringida de OE. Así, por ejemplo, la conveniencia del trabajo orientado al desarrollo de la 'vigilancia metacognitiva' se deriva de la definición de OE propuesta. Por el contrario, la idea de 'obstáculo' como sinónimo de *factor que dificulta el aprendizaje* no sugiere vías de acción específicas.

Finalmente, el enfoque de los OE tiene algunas limitaciones, entre ellas su excesivo centramiento en los factores cognitivos individuales (un sesgo compartido con la psicología cognitiva y la DCN fuertemente influida por esta). Un intento de complementar el enfoque de los OE, en relación con esta limitación, lo constituye la consideración de la importancia de la metacognición social (ver, por ejemplo, PÉREZ; GONZÁLEZ GALLI, 2021). Álvarez Pérez, Hernández y Esparza Soria (2017), por su parte, han propuesto la noción de 'núcleo problemático', entendido como la combinación de los diversos aspectos problemáticos relacionados con las situaciones didácticas, siendo los OE uno de entre varios factores que dificultan el aprendizaje, incluyendo factores sociales.

En cualquier caso, más allá de estas limitaciones, creemos que se trata de un concepto central para la actual DCN y que su potencial como marco teórico, tanto para la investigación como para la innovación educativa, es considerable y aún poco explorado. Esperamos que los análisis desarrollados en este texto estimulen la reconsideración de este concepto y el desarrollo de investigaciones que mejoren nuestra comprensión de los procesos de enseñanza y de aprendizaje de los modelos de las ciencias naturales y que fomenten el diseño de estrategias tendientes a la mejora de dichos procesos.

Agradecimientos

Este trabajo es parte de un proyecto de investigación financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y por la Universidad de Buenos Aires (Proyecto UBACyT 20020190200085BA).

Referencias

- ADÚRIZ-BRAVO, A.; ARIZA, Y. Una caracterización semanticista de los modelos científicos para la ciencia escolar. *Bio-grafía: escritos sobre la biología y su enseñanza*, Bogotá, v. 7, n. 13, p. 25-34, 2014.
- ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO AYMERICH, M. Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vigo, v. 1, n. 3, p. 130-140, 2002.
- ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO AYMERICH, M. Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, Tandil, Argentina, v. 4, n. 1, p. 40- 49. 2009.
- ÁLVAREZ PÉREZ, E.; HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, C.; ESPARZA SORIA, M. Obstáculos epistemológicos y núcleos problemáticos: dos enfoques de investigación en didáctica de biología evolutiva. In: MONROY NASR, Z.; LEÓN SÁNCHEZ, R.; DÍAZ DE LEÓN, G. A. (coord.). *Obstáculos epistemológicos en la enseñanza y el aprendizaje de la filosofía y de la ciencia*. México: Universidad Autónoma de México, 2017. p. 79-92.

- ARCINIEGAS, E.; SANTA, V.; ROJAS, O.; GIRALDO, G.; CARDENAS, S. Obstáculos epistemológicos en torno al concepto de teoría científica en estudiantes de las licenciaturas: biología, física y química de la Universidad Distrital. *Bio-grafía: escritos sobre la biología y su enseñanza*, Bogotá, p. 1818-1829, 2019. Edición Extraordinaria. Recuperado el 14 Sep. 2022 de: <https://cutt.ly/DC03skX>.
- ASTOLFI, J. *Aprender en la escuela*. Chile: Dolmen, 2000.
- ASTOLFI, J. *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas*. Sevilla: Díada, 2001.
- ASTOLFI, J. *El 'error', un medio para enseñar*. Sevilla: Díada, 1999a.
- ASTOLFI, J. El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 12, n. 2, p. 206-216, 1994.
- ASTOLFI, J. El tratamiento didáctico de los obstáculos epistemológicos. *Educación y Pedagogía*, Antioquía, v. 11, n. 25, p. 149-171, 1999b.
- ASTOLFI, J.; DEVELAY, M. *La didactique des sciences*. Paris: Presses Universitaires de France, 1989.
- ASTOLFI, J.; PETERFALVI, B. Estrategias para trabajar los obstáculos: dispositivos y resortes. In: CAMILLONI, A. (ed.). *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*. Barcelona: Gedisa, 2001. p. 191-223.
- BACHELARD, G. *La formación del espíritu científico: contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*. México, DF: Siglo XXI, 2004.
- BLANCO, F. Cognitive bias. In: VONK, J.; SHACKELFORD, T. (ed.). *Encyclopedia of animal cognition and behavior*. New York: Springer, 2017. Recuperado el 16 sep. 2022 de: <https://cutt.ly/GVwV44R>.
- CAMILLONI, A. (ed.). *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*. Barcelona: Gedisa, 2001.
- CARRETERO, M. *Introducción a la psicología cognitiva*. Buenos Aires: AIQUE, 2004.
- CARVALHO, G.; SILVA, R.; LIMA, N.; COQUET, E.; CLÉMENT, P. Portuguese primary school children's conceptions about digestion: identification of learning obstacles. *International Journal of Science Education*, London, v. 26, n. 9, p. 1111-1130, 2004.
- DE VECCHI, G. Y GIORDAN, A. *Guía práctica para la enseñanza científica*. Sevilla: Díada, 2006.
- DENNETT, D. *La actitud intencional*. Barcelona: Gedisa, 1991.
- DIMOV, L. F.; PECHLIYE, M. M.; JESUS, R. C. Caracterização ontológica do conceito de fotossíntese e obstáculos epistemológicos e ontológicos relacionados com o ensino deste conceito. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 7-28, 2014.
- DUIT, R. Enfoques del cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias. In: SCHNOTZ, W.; VOSNIADOU, S.; CARRETERO, M. (comp.). *Cambio conceptual y educación*. Buenos Aires: Aique, 2006. p. 219-250.
- EVANS, J. S. B. T. *Thinking twice: two minds in one brain*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2010.
- EVANS, E.; ROSENGREN, K. Cognitive biases or cognitive bridges? Intuitive reasoning in biology. In: KAMPOURAKIS, K.; REISS, M. (ed.). *Teaching biology in schools: global research, issues, and trends*. New York: Routledge, 2018. p. 9-21.
- EVOLUTION: education and outreach. London: *BioMed Central*, v. 13, 2020. Special issue on teleology and evolution education.
- FREITAS, E.; CHASSOT, A. Obstáculos epistemológicos no uso de TIC no ensino de ciências. *Revista Areté*, Manaus, v. 10, n. 22, p. 194-202, 2017.

GAGLIARDI, R. Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 6, n. 3, p. 291-296, 1988.

GELMAN, S.; RHODES, M. 'Two-thousand years of stasis': how psychological essentialism impedes evolutionary understanding. In: ROSENGREN, K.; BREM, S.; EVANS, E.; SINATRA, G. (ed.). *Evolution challenges: integrating research and practice in teaching and learning about evolution*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2012. p. 3-21.

GERICKE, N.; EL-HANI, C. Genetics. In: KAMPOURAKIS, K.; REISS, M. (ed.). *Teaching biology in schools: global research, issues, and trends*. New York: Routledge, 2018. p. 111-123.

GÓMEZ GALINDO, A.; SANMARTÍ, N.; PUJOL, R. Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo de ser vivo en la escuela primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 25, n. 3, p. 325-340, 2007.

GONZÁLEZ GALLI, L.; MEINARDI, E. Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural en estudiantes de escuela secundaria de Argentina. *Ciencia & Educação*, Bauru, v. 21, n. 1, p. 101-122, 2015. doi: <https://doi.org/jcm7>.

GONZÁLEZ GALLI, L.; MEINARDI, E. Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural. In: CUVI, N.; SERVILLA, E.; RUIZ, R.; PUIG SAMPER, M. (ed.). *Evolucionismo en América y Europa: antropología, biología, política y educación*. Quito: Ediciones Doce Calles; Ecuador: Universidad Autónoma de México, 2016. p. 463-476.

GONZÁLEZ GALLI, L.; PÉREZ, G.; GÓMEZ GALINDO, A. The self-regulation of teleological thinking in natural selection learning. *Evolution Education & Outreach*, London, v. 13, n. 6, 2020.

GONZÁLEZ GALLI, L.; PÉREZ, G.; ALEGRE, C.; JOELSON ESCOTO, S. Explicaciones, concepciones y obstáculos sobre el origen de las especies en estudiantes de escuela secundaria de Argentina. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 24, n. 3, p. 741-758, 2018. doi: <https://doi.org/jcm9>.

JOHNSON-LAIRD, P. *Mental models*. Cambridge: Harvard University Press, 1983.

JOHNSON-LAIRD, P. Modelos mentales. In: WILSON, R.; KEIL, F. (ed.). *Enciclopedia MIT de ciencias cognitivas*. Madrid: Síntesis, 2002. p. 845-847.

JOHNSUA, S.; DUPIN, J. *Introducción a la didáctica de las ciencias y la matemática*. Buenos Aires: Colihue, 2005.

KAMPOURAKIS, K. *The philosophy of biology: a companion for educators*. Dordrecht: Springer, 2013.

KAHNEMAN, D. *Pensar rápido, pensar lento*. Barcelona: Debate, 2019.

KELEMEN, D. Teleological minds: how natural intuitions about agency and purpose influence learning about evolution. In: ROSENGREN, K.; BREM, S.; EVANS, M.; SINATRA, G. (ed.). *Evolution challenges: integrating research and practice in teaching and learning about evolution*. Dordrecht: Springer, 2012. p. 66-92.

LENZI, A. Psicología y didáctica: ¿relaciones 'peligrosas' o interacción productiva?: una investigación en sala de clase sobre el cambio conceptual de la noción de 'gobierno'. In: BAQUERO, R.; CAMILLONI, A.; CARRETERO, M.; CASTORINA, J.; LITWIN, E. *Debates constructivistas*. Buenos Aires: AIQUE, 2008. p. 69-114.

MARTINAND, J. *Connaitre et transformer la matière*. Berna: Peter Lang, 1986.

MARZÁBAL, A.; MERINO, C.; ROCHA, A. El obstáculo epistemológico como objeto de reflexión para la activación del cambio didáctico en docentes de ciencia en ejercicio. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, Tandil, v. 9, n. 1, p. 70-83, 2014.

MORA ZAMORA, A. Obstáculos epistemológicos que afectan el proceso de construcción de conceptos del área de ciencias en niños de edad escolar. *InterSedes: revista de las sedes regionales*, San José de Costa Rica, v. 3, n. 5, p. 75-89, 2002.

PÉREZ, G.; GONZÁLEZ GALLI, L. La metacognición social en la enseñanza de la biología. *Revista de Educación en Biología*, Buenos Aires, v. 3, p. 147-149, 2021. Número Extraordinario.

PESSANHA, M.; PIETROCOLA, M. Obstáculos epistemológicos e didáticos no estudo de conceitos de física moderna e contemporânea. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. Atas [...]. Águas de Lindóia: Abrapec, 2013.

PETERFALVI, B. Identificación de los obstáculos por parte de los alumnos. In: CAMILLONI, A. (ed.). *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*. Barcelona: Gedisa, 2001. p. 127-168.

PINKER, S. *Racionalidad: qué es, por qué escasea y cómo promoverla*. Barcelona: Paidós, 2021.

POZO, J. *Psicología del aprendizaje humano: adquisición de conocimiento y cambio personal*. Madrid: Morata, 2014.

POZO, J.; GÓMEZ CRESPO, M. *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata, 2004.

QUÍLEZ, J. Le Chatelier's principle as a qualitative rule: an epistemological obstacle to learning chemical equilibrium. *Journal for the Study of Education and Development*, London, v. 20, n. 78, p. 73-86, 1997.

ROSENGREN K.; BREM S.; EVANS E.; SINATRA G. (ed.). *Evolution challenges: integrating research and practice in teaching and learning about evolution*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2012.

SANMARTÍ, N. *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis, 2002.

SETTLAGE, J. Conceptions of natural selection: a snapshot of the sense-making process. *Journal of Research in Science Teaching*, Hoboken, v. 31, n. 5, p. 449-457, 1994.

TALANQUER, V. On cognitive constraints and learning progressions: the case of 'structure of matter'. *International Journal of Science Education*, London, v. 31, n. 15, p. 2123-2136, 2009.

TAMAYO ALZATE, O. *Didáctica de las ciencias: la evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias*. Manizales: Editorial Universidad de Caldas, 2009.