



La estrategia I4C: una estrategia didáctica para el desarrollo de habilidades de pensamiento y el aprendizaje de la química

- The I4C Strategy: A Didactic Strategy for Developing Thinking Skills and Learning Chemistry
- A Estratégia I4C: uma estratégia didática para o desenvolvimento de habilidades de pensamento e a aprendizagem da química

Resumen

En este artículo se reportan los resultados parciales de una aplicación del modelo 3P y la estrategia I4C en el contexto del Alineamiento Constructivo (AC), para el desarrollo de habilidades de pensamiento y el aprendizaje de los conceptos de solución y reactivo límite en un grupo de estudiantes del Colegio de Bachillerato Patria (CBP). Los resultados de esta aplicación, si bien aún son parciales, muestran el potencial del AC, el modelo 3P y la estrategia didáctica I4C para el diseño y ejecución de formas de enseñanza en el aula que propendan por el mejoramiento de la calidad de la enseñanza y del aprendizaje. A partir de la estrategia I4C el estudiante desarrolla operaciones de pensamiento tales como identificar, comparar, comunicar y cuantificar aplicables en diferentes campos de la química y de las ciencias en general. Dado que solo se reportan resultados parciales de una investigación en el aula, se espera que nuevas investigaciones vengan a complementarlos y ampliarlos.

Palabras clave

estrategia I4C; el modelo 3P; habilidades de pensamiento; conceptos químicos

Abstract

This article reports the partial results of an application of the 3P model and the I4C strategy in the context of Constructive Alignment (AC). It was the objective of the application to develop thinking skills and improve the learning of the concepts of solution and limit reagents in a secondary school group of students. These students belonged to the Colegio de Bachillerato Patria (CBP) in Bogota. Analysis of the results shows that the AC, the 3P model, and the I4C didactic strategy are potentially useful to foster teaching in the classroom aiming at developing thinking skills and improving quality learning of scientific concepts.

Ximena Umbarila-Castiblanco*
Fidel Antonio Cárdenas-Salgado**

* Doctora en Educación. Profesora catedrática, Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional. Docente investigadora en Educación Química vinculada a los Liceos del Ejército, Colegio Patria, Bogotá, Colombia. xumbarilac@pedagogica.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3419-9551>.

** Doctor en Química. Profesor titular, Departamento de Química, Facultad de Ciencia y Tecnología. Docente investigador, Doctorado Interinstitucional en Educación, Universidad Pedagógica Nacional, Colombia. cardenas@pedagogica.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4051-7894>.



Based on the i4C strategy, the student develops thought operations such as identifying, comparing, communicating, and quantifying applicable in different fields of chemistry and natural sciences in general. Because these are partial results; new systematic experiences will be welcome to deeply develop the field of active didactics in science education.

Keywords

i4C strategy; the 3P model; thinking skills; chemical concepts

Resumo

Neste artigo se relatam os resultados parciais de uma aplicação do modelo 3P e da estratégia i4C no contexto do Alinhamento Construtivo (AL), para o desenvolvimento de habilidades de pensamento e o aprendizado dos conceitos de solução e reagente limite em um grupo de alunos da Escola de Ensino médio Patria (CBP). Os resultados desta aplicação, embora ainda parciais, mostram o potencial do AC, do modelo 3P e da estratégia didática i4C para o desenho e execução de formas de ensino em sala de aula que tendem a melhorar a qualidade do ensino e da aprendizagem. A partir da estratégia i4C, o aluno desenvolve operações de pensamento tais como identificar, comparar, comunicar e quantificar aplicáveis em diferentes áreas da química e das ciências em geral. Uma vez que apenas são relatados resultados parciais de uma pesquisa em sala de aula, espera-se que novas investigações venham para complementá-los e ampliá-los.

Palavras-chave

estratégia i4C; modelo 3P; habilidades de pensamento; conceitos químicos

Introducción

En el campo de la educación, cada vez más se interroga y se investiga acerca de las formas mediante las cuales se puede llegar a evidenciar en los estudiantes un mayor rendimiento, no solo en su desempeño académico, en términos de los niveles de logro, sino también en los resultados de las pruebas censales a nivel nacional¹ y, a nivel internacional, en pruebas de amplia cobertura, como la del Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes (PISA, por sus siglas en inglés).

En el contexto anterior, las autoridades académicas nacionales han hecho esfuerzos por implementar normativas, realizar acuerdos, capacitaciones y convenios con diferentes instituciones educativas que propenden por cerrar la brecha que existe entre las metas de aprendizaje propuestas y los resultados académicos de los estudiantes (Castaño-Duque y García-Serna, 2012; García *et al.*, 2014; Pérez, 2018). Con todo lo anterior, el panorama es poco alentador debido a la interacción de múltiples variables que influyen en el proceso de enseñanza-aprendizaje (EA) en los diferentes ambientes de aula en el país.

Puesto que la panorámica descrita someramente en los párrafos anteriores, con los matices propios de cada país, se presenta a nivel mundial, la búsqueda de alternativas para un mejoramiento continuo de la calidad de la educación ha sido también continua y de esa amplitud. Fruto de esta búsqueda han sido las diferentes aproximaciones tanto teóricas como prácticas para concebir la educación en general y la evaluación en particular; una de tales perspectivas más actuales es la teoría

del *alineamiento constructivo* (AC) (Biggs, 1999; Biggs y Tang, 2006), desde la cual se pueden analizar y explicar muchos de los acontecimientos propios de la dinámica que se vive en el aula, tanto para comprenderlos como para orientarlos. En esta última dirección apuntan trabajos como los relacionados con el diseño curricular y la evaluación (Liaqat, 2018).

Postulada originalmente por Jhon Biggs (Biggs, 1999; Biggs y Tang, 2006), la teoría del AC establece que si bien en el subsistema aula de clase confluyen múltiples variables, tres de ellas dan origen a un subsistema de tres componentes, los cuales de una u otra manera sobresalen en el proceso de EA. Los componentes de este subsistema —el docente, el estudiante y la evaluación— están estrechamente ligados entre sí y se expresan en las intenciones y metas de EA que se procuran. Así, las metas de aprendizaje que tenga el estudiante, las de enseñanza que tenga el maestro y su grado de coherencia con la evaluación pueden conducir a que el aula funcione como un subsistema alineado o no alineado en el centro de un gran sistema que es el educativo.

En el primer caso, cuando el subsistema es alineado, tanto las intenciones de los estudiantes como las del docente y la evaluación se orientan en una misma dirección. Por el contrario, en un sistema no alineado la orientación de estos tres componentes no busca los mismos logros, y en la mayoría de los casos, además, se alejan de las metas y oportunidades de una institución educativa. En relación con el aprendizaje, yace en el interior de esta forma de pensar la educación la noción de que existe mayor probabilidad de que el aprendizaje se produzca cuando dicha experiencia se desarrolla en subsistemas alineados.

Como teoría que es, el AC desde sus orígenes ha tenido seguidores y detractores; entre los seguidores puede mencionarse el trabajo

1 Las pruebas censales en Colombia son las que aplica el Estado a todos los estudiantes del país y la entidad que las diseña y aplica es el Icfes, de tal manera que cada año los estudiantes de todo el país deben presentar la prueba Saber, para los grados 3, 5, 9 y 11.

de Colin, para quien el AC fundamentado en el aprendizaje profundo es clave en los procesos que adelantan los diseñadores educativos (Colin *et al.*, 2021), y Paskevicius, quien aboga por la utilidad del AC en los necesarios procesos de transición de prácticas educativas tradicionales hacia otras más abiertas (Paskevicius, 2017). Asimismo, ciertas aproximaciones detractoras fundamentan sus críticas particularmente en el carácter mecánico de los resultados observables del aprendizaje y la complejidad que existe para alinear elementos de política educativa y su implementación en las aulas; una amplia discusión al respecto puede consultarse en Colin *et al.* (2021).

Puesto que uno de los elementos que acompañan el AC son las didácticas activas asociadas al modelo 3P, en este artículo, producto de una investigación en el aula, se presentan algunas generalidades de este modelo para el diseño y la implementación de las actividades de EA llevadas a cabo bajo los principios del AC. De igual manera, se esboza una postura analítica frente a los niveles de comprensión de dos conceptos de la química y el desarrollo de habilidades de pensamiento durante los procesos de EA de esta ciencia; finalmente, se muestran algunos ejemplos del desarrollo de estas formas de proceder en el aula basadas en la estrategia 14C y sus respectivas actividades de evaluación.

El modelo 3P en la teoría del AC

La teoría del AC se fundamenta en la concepción del proceso educativo en un contexto social como un gran sistema donde coexisten varios subsistemas que, de actuar alineados, permitirían obtener mejoras en los resultados esperados en el sistema educativo en general, y en particular en el subsistema aula de clase. La abreviatura 3P representa las etapas de Presagio, Proceso y Producto, que marcan un momento específico en el contexto macro del sistema educativo (Soler, 2018). La figura 1 muestra los principales elementos del modelo 3P; en la fase del presagio se observan los actores del proceso de EA (el maestro y los estudiantes) y una interacción entre ellos, lo cual significa que cada uno tiene unos conocimientos e intereses en específico que interactúan entre estos subsistemas. Por otra parte, está la fase del proceso en la cual se ubican los objetivos y las metas de aprendizaje, los cuales determinan la forma en que se deben desarrollar las estrategias y las actividades de enseñanza. Finalmente, está la fase de producto, que es donde se observan los resultados del proceso llevado a cabo en el aula en función de los objetivos y metas de aprendizaje establecidos y acordados previamente. Es de anotar que las actividades de evaluación son fundamentales para la verificación de estos logros. Las flechas de doble dirección indican el carácter interactivo de las etapas del modelo.

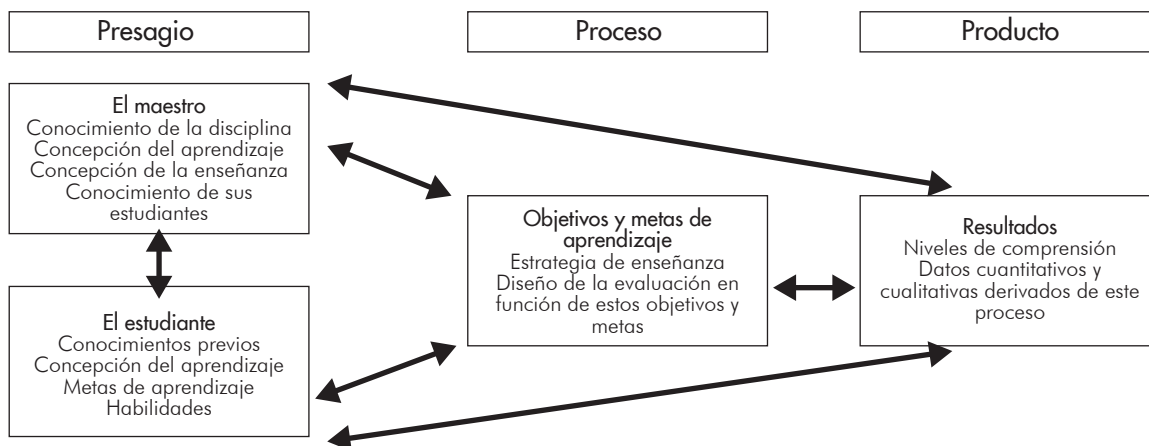


Figura 1. Elementos constitutivos del modelo 3P

Fuente: tomado y adaptado de Soler (2018).

En síntesis, el modelo 3P describe y orienta la forma como se procede cuando se diseña una estrategia de enseñanza alineada (Rosario *et al.*, 2005; Sarzoza, 2013), en la cual el maestro y los estudiantes establecen de antemano los objetivos y las metas de aprendizaje así como los contenidos con los cuales se comprometen a aprender; asimismo, conocen de manera clara y explícita cómo deben trabajar para lograr esas metas; están de acuerdo en la forma o formas de evaluación y cómo se relaciona(n) con los objetivos y las actividades que deben cumplirse como parte de ella(s). Las metas de enseñanza, por lo general, están asociadas con los niveles de comprensión de los conceptos que se enseñan; en esta perspectiva, en el siguiente apartado se describen los niveles de comprensión de los conceptos de la química propuestos desde los planteamientos de A. Johnstone (2006).

Acerca de los conceptos de la química

La química es una disciplina que forma parte del campo de conocimiento de las llamadas ciencias naturales. Por esto, ayuda a compren-

der² el mundo, específicamente en cuanto a las características, propiedades de los materiales y en términos de las interacciones de átomos y moléculas a partir de los respectivos conceptos; es decir, estudiar química significa estudiar las propiedades visibles de las sustancias puras (nivel macroscópico) a partir de propiedades que no son visibles (nivel submicroscópico) y que tienen una representación específica (nivel simbólico) (Johnstone, 2006).

Los aportes del mencionado autor acerca de la comprensión de los conceptos químicos están enfocados en tres niveles diferentes de representación e implican procesos de abstracción y desarrollo de habilidades de pensamiento específicas. En primer lugar, la comprensión macroscópica de los conceptos vincula procesos de pensamientos relacionados con las operaciones concretas y el desarrollo de habilidades de pensamiento, por ejemplo observar (figura 2); en segundo lugar, la comprensión microscópica de los conceptos implica procesos de abstracción que permiten

2 Comprender, en términos de Tuffanelli (2014), es el esfuerzo constructivo que hace el sujeto por interiorizar el conocimiento hasta que se vuelve competencia.

establecer relaciones entre ellos y una realidad no visible (Casado y Raviolo, 2005) y, de manera paralela, desarrollar habilidades de pensamiento como Identificar y Clasificar. Finalmente, la comprensión simbólica de los conceptos no solo incluye los dos niveles anteriores, sino que además exige la asignación de un significado químico a los símbolos, fórmulas y ecuaciones propias de la disciplina para luego usarlos en la elaboración de explicaciones, solucionar un problema específico y desarrollar habilidades de pensamiento de orden superior, como son Comparar, Cuantificar y Comunicar.

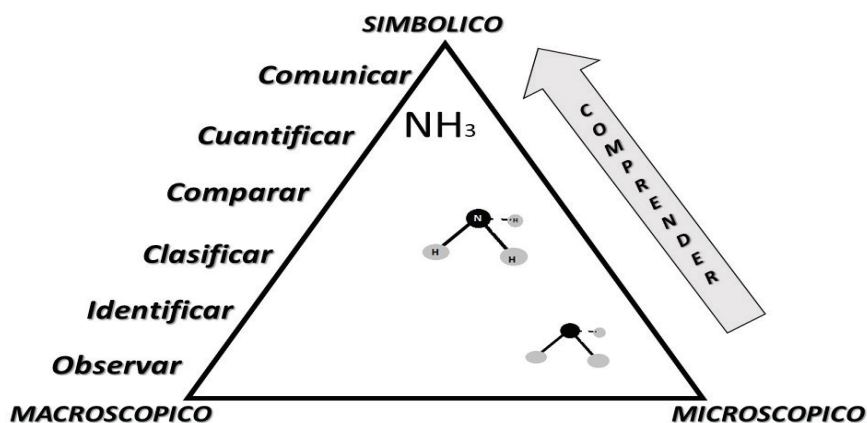


Figura 2. Relación entre los niveles de comprensión en química y las habilidades de pensamiento por desarrollar durante el proceso de enseñanza

Fuente: tomado y adaptado de Johnstone (2006).

La figura 2 muestra una relación entre los niveles de comprensión planteados por Johnstone (2006) y las habilidades de pensamiento que se van desarrollando a medida que se comprenden los conceptos de la química. Cuando se observan fenómenos del macromundo, es decir, aquellos que forman parte de la realidad tangible, las habilidades de pensamiento que se desarrollan están asociadas con la observación y la Identificación; cuando se avanza al nivel de comprensión del mundo submicroscópico, esto es, a una realidad no perceptible a los sentidos del ser humano, en particular la visión, se acude a conceptos como átomos, moléculas y enlaces, entre otros, para comprender una situación dada; por lo anterior, las habilidades de pensamiento están asociadas a procesos de abstracción, tales como Clasificar y Comparar. Finalmente, cuando se alcanza un nivel de representación simbólica se construyen fórmulas, ecuaciones y gráficas a partir de las comprensiones hechas a nivel macroscópico y submicroscópico y que tienen un significado en la química; por tal razón, las habilidades de pensamiento asociadas son de orden superior, como Cuantificar y Comunicar.

Puesto que el desarrollo de habilidades de pensamiento es fundamental en el proceso de comprensión de los conceptos de la química, y en general para la construcción de conocimiento, en el apartado siguiente se abordan algunas ideas al respecto.

Las habilidades de pensamiento

Las habilidades de pensamiento son un conjunto de operaciones mentales que los seres humanos realizan de forma permanente en su interacción con el mundo. Algunas de estas habilidades comienzan su desarrollo desde el vientre materno (Alonso, 2018), mientras que otras se construyen a lo largo de la vida. Así, por ejemplo, la habilidad para discriminar sonidos ocurre hacia las 25 semanas de gestación, cuando se ha desarrollado en el feto el sistema auditivo y ya es capaz de diferenciar sonidos desde el vientre materno, como el latido del corazón, la respiración y la voz; cuando se inicia la vida extrauterina el bebé recién nacido conoce ya la voz de sus padres (Alonso, 2018). Desde ese preciso momento, en el recién nacido continúa un proceso de refinación de la habilidad para establecer categorías.

En términos de Bruner (2001), la forma como el ser humano se adapta al mundo es mediante el aprendizaje y el uso de categorías cuya función principal es poder agrupar objetos que tienen una característica común o cumplen una misma función. En el campo de las ciencias naturales, y en particular de la química, se han inventado modos de agrupación de la naturaleza de las sustancias y se han creado categorías específicas que permiten profundizar en su estudio y aprendizaje.

Aceptando que desde el momento del nacimiento se están desarrollando habilidades de pensamiento, se podría pensar que una de las funciones de la educación es contribuir

en este desarrollo; es decir, proponer estrategias de enseñanza tendientes a potenciar las habilidades de pensamiento y los conceptos propios de cada área de conocimiento, de conformidad con el proceso evolutivo tanto psicológico como cronológico del niño a lo largo de la educación. En este artículo, como se mencionó al comienzo, se presenta una estrategia de EA denominada I4C,³ con la cual, además de propender por el aprendizaje de algunos conceptos propios de la química, en los niveles iniciales de la educación, se puede lograr el desarrollo de algunas habilidades de pensamiento básicas que contribuirán más tarde a la comprensión de estructuras más complejas de la química.

La estrategia I4C

Durante más de diez años de experiencia docente de los autores tanto a nivel de educación básica y media como a nivel universitario en la enseñanza de las ciencias y de la química en particular, ha sido preocupación constante el mejoramiento de la calidad de los procesos de enseñanza y aprendizaje y evaluación. La reflexión continua acerca de estas tres ideas, en los diferentes niveles de la educación y sumada a las experiencias vividas en el aula se consolidaron como fundamentos para el desarrollo de la investigación que se reporta en este artículo. Como muchos otros docentes del área, los primeros años de experiencia estuvieron bastante ligados a lo que se pudiera llamar el modelo tradicional en cuanto a la enseñanza se refiere. Era preocupación la buena preparación de clases enfocadas en la presentación y enseñanza de contenidos didácticamente estructurados que fueran motivantes para los estudiantes y les facilitara su aprendizaje. Como era de esperarse, bajo este mismo paradigma la concepción subyacente de aprendizaje era la incorporación de nuevos contenidos a la estructura cognitiva

del estudiante, y la evaluación se orientó a establecer la cantidad y la calidad de los contenidos aprendidos por los estudiantes mediante la evaluación. Como se puede deducir, esta aproximación a la enseñanza de la química priorizaba el aprendizaje de conceptos y oscurecía el desarrollo de las habilidades de pensamiento. Este problema, reconocido plenamente por los autores, motivó aún más el emprendimiento de esta investigación.

Con el paso del tiempo, la reflexión continua, la observación del rendimiento académico de los estudiantes y la permanente crítica a nivel académico y social acerca de la baja calidad de la educación evidenciada en los resultados de las pruebas censales y el índice de la calidad de la educación motivaron el avance de los autores hacia una mejor cualificación mediante estudios de maestría y doctorado con el fin de buscar alternativas de solución y mejoramiento de la calidad de educación colombiana fundamentalmente a partir de la investigación como trabajo de aula.

Fue en los contextos de la educación posgradual mencionada donde los autores encontraron nuevos horizontes teóricos y prácticos desde los cuales podían buscar nuevas y más eficientes estrategias de enseñanza de los conceptos científicos. Entre tales horizontes emerge el AC, dentro de cuya perspectiva se ubica la orientación de la enseñanza hacia el desarrollo de las habilidades de pensamiento con prioridad en el aprendizaje de conceptos. Es en esta última perspectiva donde se origina la estrategia I4C como punto de partida para la orientación didáctica del desarrollo de habilidades de pensamiento en los estudiantes.

Esta estrategia hace referencia a cinco habilidades de pensamiento básicas que se pueden desarrollar durante los procesos de EA en el aula, en particular de la química. En la expresión I4C,³ la I representa la habilidad de *identificar*, y la dualidad 4C representa las cuatro habilidades que comienzan con la letra C: *Clasificar*, *Comparar*, *Cuantificar* y *Comunicar* mencionadas en la figura 2 y descritas en la tabla 1. Estas habilidades se consideran básicas dentro del amplio espectro de habilidades de pensamiento citado en taxonomías tales como la de Bloom (1956) y SOLO⁴ (Biggs, 2006). En el contexto del AC, las habilidades mencionadas son el preámbulo y la base sobre las cuales empezar a potenciar habilidades de pensamiento de orden superior y llegar a un aprendizaje profundo de lo que los docentes quieren enseñar, y los estudiantes, aprender (Cárdenas, 2012).

3 El nombre I4C fue dado por los profesores de ciencias del colegio de bachillerato patria del cual forma parte uno de los autores.

4 SOLO, es la taxonomía propuesta por J. Biggs en el marco de la teoría del alineamiento constructivo y significa Structure of the Observed Learning Outcomes y describe las habilidades de pensamiento que se deben desarrollar para lograr un aprendizaje profundo en un proceso de enseñanza.

Tabla 1. Relación y descripción de las habilidades de pensamiento que forman parte de la estrategia 14C

Habilidad	Descripción
Identificar	Seleccionar información relevante de acuerdo a un procedimiento o una categoría.
Clasificar	Agrupar objetos de acuerdo a los atributos definitorios en una categoría específica.
Comparar	Establecer relaciones de semejanza o diferencia, de secuencia o precedencia entre dos o más objetos o datos.
Cuantificar	Aplicar acertadamente las herramientas matemáticas pertinentes en el desarrollo de un procedimiento determinado.
Comunicar	Expresar de forma oral o escrita generalizaciones, inferencias, conclusiones o resultados de un procedimiento realizado.

Fuente: elaboración propia.

Esta estrategia de enseñanza, en la actualidad, forma parte del ejercicio docente cotidiano en el contexto del Colegio de Bachillerato Patria (CBP) de Bogotá, en el área de las ciencias con estudiantes de educación básica y media, de donde emerge gran parte de los resultados y las reflexiones presentadas en este artículo. También ha sido objeto de trabajo en el contexto de un seminario de la Maestría en Docencia de la Química de la Universidad Pedagógica Nacional.

El procedimiento seguido y la recolección de los datos

El diseño y desarrollo de la investigación con la estrategia anterior, en términos metodológicos, estuvo acompañada de actividades de EA que se construyeron alineando la estructura de los conceptos de solución y reactivo límite, las habilidades de pensamiento por desarrollar mediante la enseñanza de cada uno de los dos conceptos y las respectivas metas de aprendizaje establecidas en términos de la taxonomía SOLO. De esta manera, quedaron también alineadas las intenciones del maestro, el trabajo de los estudiantes, los objetivos del curso y la evaluación.

Tanto para la construcción de las actividades de EA como para la evaluación del progreso de los estudiantes se formularon, a manera de rejillas, situaciones de la vida

cotidiana. Estas fueron realizadas por los estudiantes a medida que avanzaba el curso. Los productos de este trabajo, recolectados y analizados rigurosamente junto con algunas entrevistas a los estudiantes condujeron a los ejemplos que se presentan y analizan más adelante. Para la presentación y el análisis de los resultados se usaron rejillas, porcentajes y gráficas elaboradas con el programa Excel.

Como se ha mencionado, a manera de ejemplos, se presentan en seguida algunas de estas actividades para ilustrar cómo, a partir de la enseñanza de los conceptos de solución y reactivo límite, se pueden desarrollar de forma simultánea las habilidades de pensamiento mostradas en la figura 2.

Los conceptos de solución y reactivo límite en la estrategia 14C

Es bien conocido en la comunidad académica que el concepto de solución⁵ en la química es de fundamental importancia y se aborda en diferentes grados de la educación básica y media de acuerdo con los estándares establecidos por el MEN (2006). Es de anotar, sin embargo, que este concepto debe ser desarrollado a diferentes niveles de comprensión, esto es,

5 El concepto de solución no solo es importante en la química, sino en todos los escenarios de la cotidianidad porque desde el mismo momento en que se gestó la vida ocurrió en medio de una solución acuosa.

empezar por el tratamiento macroscópico del concepto, en los primeros años, para avanzar hacia los niveles submicroscópico y simbólico en los cursos superiores. En la rejilla 1, construida con información del macromundo, se ilustra la forma como se abordó la enseñanza del concepto en mención, con la voluntad del docente y de los estudiantes que se comprometieron a trabajar para desarrollar las habilidades de pensamiento Identificar, Clasificar y Comparar. En esta rejilla, solo se encuentran mezclas homogéneas y a esta categoría pertenecen tanto las soluciones verdaderas como los coloides; un paso más en este compromiso está relacionado con la búsqueda de respuestas a la pregunta ¿Cómo diferenciar un coloide y una solución verdadera? Para responder a este interrogante es pertinente acudir al atributo definitorio⁶ del tamaño de las partículas y sus efectos perceptibles a la luz visible; en ese sentido, las partículas coloidales permiten la dispersión de la luz, en lo que se conoce como el efecto Tyndall, mientras que las partículas del soluto en una solución verdadera, de tamaño más pequeño, no muestran este efecto. La realización de la actividad mencionada conlleva alineadamente las intenciones del docente y de los estudiantes con el compromiso decidido de realizarla con el fin de mejorar sus habilidades de Identificar y Clasificar.

Con base en el razonamiento anterior, los estudiantes con la orientación del profesor y el apoyo de alguna literatura acerca del tema lograron comparar las imágenes y definir cuáles de los materiales ilustrados dispersan o no la luz y de esta manera identificar los coloides y clasificar las soluciones verdaderas.

Moneda de \$200	Suero fisiológico	Nebolina
Gelatina	Leche	Humo

Rejilla 1. Información utilizada en la rejilla para el desarrollo de habilidades de pensamiento en el marco de la estrategia 14C

Fuente: elaboración propia.

La rejilla anterior, previo el alineamiento de las intenciones del docente y de los estudiantes de comprometerse con el mejoramiento de estas habilidades de pensamiento, representó una oportunidad apropiada para el desarrollo de estas, en primer lugar, porque le permitió al docente orientar a sus estudiantes para identificar el atributo definitorio, que diferencia una solución verdadera de un coloide; y en segundo lugar, porque con esa precisión los estudiantes alcanzaron algún desarrollo de su capacidad para comparar y clasificar diferentes mezclas homogéneas como soluciones verdaderas o coloides.

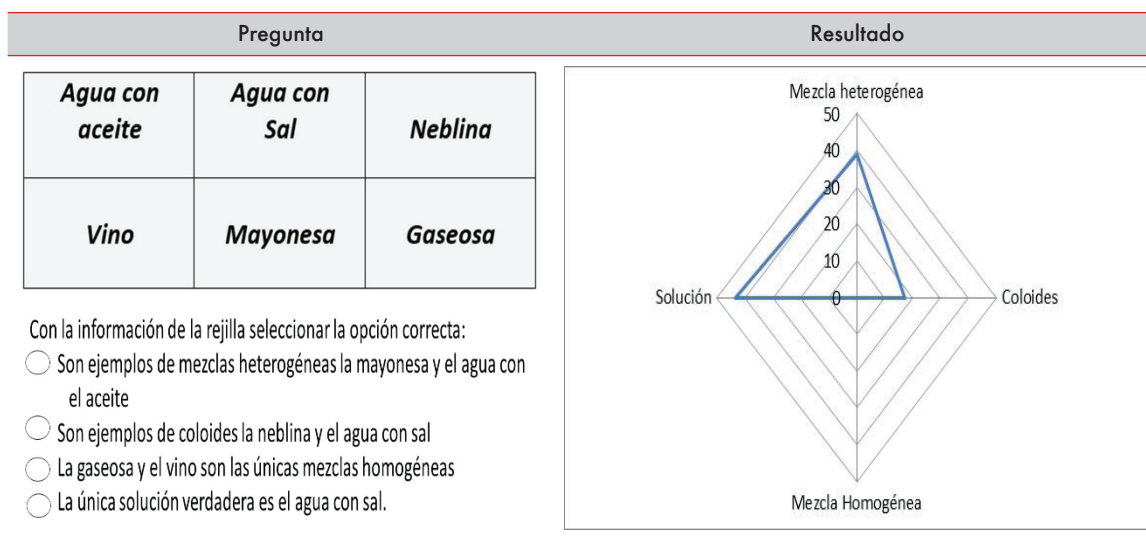
Durante el proceso de evaluación, en coherencia con el AC, las pruebas escritas de evaluación se diseñaron teniendo en cuenta las actividades de EA. En términos procedimentales, esto significa que fueron muy semejantes a las de enseñanza; para este caso particular, donde se abordó el concepto de solución,

⁶ Un atributo definitorio es “todo rasgo distintivo de un acontecimiento que resulta susceptible de cierta variación perceptible para acontecimiento concreto” (Bruner, 2001).

la evaluación se llevó a cabo a partir del uso y la interpretación de información como la que se ilustra en la rejilla 1. En otros términos, la evaluación se realizó de manera isomórfica con las construidas para la enseñanza, vale decir, se enseñó a partir de información en rejillas y se evaluó de la misma manera.

De conformidad con la rejilla 2, en la parte izquierda se presentó el enunciado de la pregunta, según la cual, el estudiante debe

seleccionar la opción correcta a partir de la información presentada; es claro que para lograrlo debe identificar, clasificar y comparar la información presentada. Nótese que, en coherencia con el AC, las actividades de EA están íntimamente ligadas a las actividades y estrategias de evaluación; en este caso, el aprendizaje y la evaluación de la diferencia entre una solución verdadera y un coloide.



Rejilla 2. Ilustración de una de las actividades de evaluación aplicadas para el desarrollo de habilidades de identificar, clasificar y comparar en relación con el concepto de solución

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la misma rejilla, en la parte derecha se reportan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la estrategia con un grupo de 35 estudiantes de educación media del CBP, durante un bimestre de trabajo académico, diez semanas con una intensidad de cuatro horas semanales. La mayoría de los estudiantes, el 43,5 % logra identificar acertadamente la única solución presente en el grupo de mezclas mencionadas en la rejilla, la correspondiente al agua con sal, seguida de la identificación de mezclas heterogéneas (opción 1 en el enunciado de

la pregunta) con un 39,1 % y el restante 17 % de los estudiantes mostraron confusión para diferenciar los coloides.

En diálogo posterior con los estudiantes⁷ que seleccionaron la opción 1 como la correcta, se logró establecer como argumento para su respuesta que actualmente en el mercado se encuentran diferentes tipos de mayonesa, e incluso hay unas que vienen con varios

⁷ La retroalimentación y el diálogo permanente con el estudiante durante su proceso de aprendizaje es fundamental en el marco del alineamiento constructivo (Norton, 2009; Soler, 2018).

condimentos y aditivos sólidos, que son observables; por esto la clasificaron dentro de la categoría de heterogénea, y como era la primera opción no continuaron leyendo las demás opciones. Es de anotar que este argumento de los estudiantes, por una parte, muestra claramente la influencia que ejerce en el aprendizaje escolar el contexto en cual viven y crecen los niños y las niñas y, por otra, reflejan la importancia del diálogo entre el docente y el estudiante como medio de establecer de manera directa los desarrollos académicos de sus estudiantes. Cabe anotar además que la estrategia didáctica 14c, como cualquier otra, no es útil para todos los estudiantes en un momento dado; esto puede por lo menos en parte explicar los resultados del 17 % de los estudiantes.

De manera similar al procedimiento seguido para la EA del concepto de solución, y previo el alineamiento de las intenciones del docente y de los estudiantes, esta vez en relación con el aprendizaje del concepto de reactivo límite, se partió de la formulación de un problema. En procura de la respectiva resolución, el profesor y los estudiantes orientaron sus trabajos y compromisos hacia el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior propias de la resolución de problemas. En este caso, se propendió por el desarrollo de las habilidades para cuantificar, comparar y comunicar.

Como es bien sabido, el concepto de reactivo límite y, en general, los conceptos asociados a la estequiometría son difíciles de comprender por parte de los estudiantes (Furio, 2000; Martínez, 2011), debido a que implica un alto nivel de comprensión de otros conceptos propios de la química, el uso de operaciones matemáticas adecuadas y un buen desarrollo de habilidades de pensamiento como las mencionadas antes.

La situación ilustrada en figura 3 muestra una emergencia médica: se trata de un problema por intoxicación con ácido oxálico, cuyo paciente debe ser tratado con una cantidad específica de permanganato de potasio. Las cantidades requeridas están dadas por la estequiometría de la reacción expresada por la respectiva ecuación, de tal manera que, para poder enfrentar y resolver el problema, el estudiante debe, en coherencia con la estrategia 14c, hacer una interpretación del problema, es decir, identificar y clasificar la información relevante. Además, requiere comprender el significado de la estequiometría de la reacción para cuantificar la cantidad de permanganato de potasio que debe reaccionar con la cantidad de ácido oxálico consumida accidentalmente por el paciente; por otra parte, debe aplicar el concepto de reactivo límite para poder comparar la cantidad suministrada de este reactivo con la cantidad calculada a partir de la ecuación balanceada y, finalmente, comunicar el desenlace: si el paciente se salva o se muere con la cantidad de permanganato administrada por el médico.

En un trabajo experimental ocurrió un accidente:

De inmediato la persona que tomó el ácido se remitió al hospital más cercano...

El ácido oxálico es fuertemente tóxico para el organismo; de ser ingerido debe ser tratado con KMnO_4 en medio del HCl estomacal, como se muestra en la ecuación.

El paciente se salva o se muere?

$$\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{MnCl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$$

Tomado y adaptado de Restrepo F. (1998). Química General

Figura 3. Ilustración del problema planteado como actividad de ea del concepto de reactivo límite para el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior

Fuente: tomado y adaptado de Restrepo (1998).

Nótese que la escena presentada no solo permite la búsqueda de solución a un problema de estequiometría, sino que además enfrenta a los estudiantes a una situación real en la que deben tomar decisiones en función de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la disciplina. Esto les permite desarrollar habilidades de pensamiento que en un futuro podrán implementar en otros campos del conocimiento y en la vida misma para enfrentar y resolver un problema (Biggs y Tang, 2006).

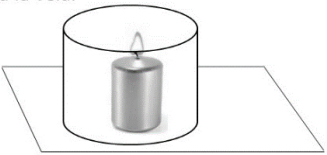
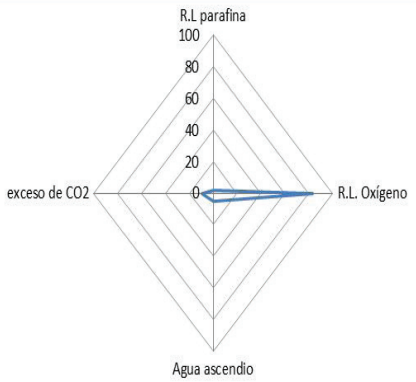
Durante el proceso de EA del concepto de reactivo límite, a través de actividades como la mencionada recientemente, los estudiantes tuvieron la oportunidad para desarrollar habilidades de pensamiento como identificar, clasificar, comparar, cuantificar y comunicar, las

cuales, con la orientación del docente y el apoyo de la literatura científica pertinente, condujeron a procesos de aprendizaje más eficientes y a resultados más favorables, para desempeñarse con éxito en la química, pero también en otros campos de la vida fuera de ella.

En coherencia con las actividades de enseñanza, basadas en la resolución de problemas y la estrategia 14C se diseñó la forma de evaluación que se ilustra en la rejilla 3. En la columna de la izquierda se presenta una situación cotidiana, allí se observa una vela que se apaga cuando se le coloca un vaso encima y se pregunta a los estudiantes acerca de las razones por las cuales se apaga la vela. La intención de la pregunta, en concordancia con

el AC y la estrategia I4C, es valorar la capacidad de los estudiantes para identificar y clasificar la información presentada, cuantificar las relaciones estequiométricas de los reactivos, en este caso de la parafina y el oxígeno, y comparar estas cantidades haciendo uso del concepto de reactivo límite para poder comunicar que la vela se apaga porque el reactivo límite en esta situación es el oxígeno.

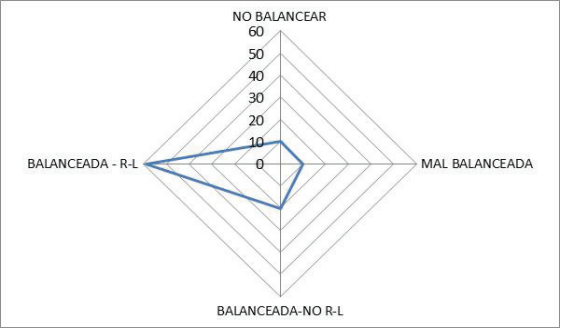
En la columna de la derecha de la rejilla 3, se observan los resultados de las respuestas dadas por un grupo de 140 estudiantes de educación media del CBP durante un bimestre de trabajo escolar, diez semanas con una intensidad de cuatro horas semanales. Nótese que la mayoría de ellos argumentan en favor del concepto de reactivo límite indicando que la vela se apaga porque el oxígeno es el reactivo límite; el 83,5 % de los estudiantes estuvieron de acuerdo en esta explicación; en menores porcentajes los participantes optaron por otras explicaciones; el 9,4 % asume que la vela deja de arder a causa del exceso de CO₂, el 5,5 % argumentó que el agua asciende dentro del vaso y la apaga y solo el 1,6 % argumentó equivocadamente que el reactivo límite es la parafina.

Pregunta	Resultado
<p>La imagen muestra el proceso mediante el cual se apaga la vela:</p>  <p>Para la reacción de la combustión se requiere de un combustible (la parafina) y un comburente (el oxígeno), como se observa en la siguiente reacción:</p> $C_{20}H_{42} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ <p>Cuando se coloca el vaso sobre la vela, ésta se apaga porque:</p>	

Rejilla 3. Ilustración de una actividad de evaluación asociada al desarrollo de habilidades para identificar, clasificar, comparar, cuantificar y comunicar en relación con el concepto de reactivo límite

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados de otra pregunta diseñada para evaluar la comprensión del concepto de reactivo límite, empleando un ejercicio de lápiz y papel. En este caso, para poder desarrollarlo los estudiantes deben poner a prueba no solo la comprensión del concepto de reactivo límite, sino además aplicar habilidades de pensamiento tales como comparar, clasificar y cuantificar. En esta dirección, los estudiantes deben balancear la ecuación, que es un ejercicio de comparación entre las cantidades de átomos involucrados en ella, y por otra, deben clasificar la información para identificar los datos relevantes de la ecuación; finalmente, deben cuantificar los datos principales de acuerdo con las relaciones estequiométricas planteadas en la ecuación y así poder seleccionar la opción correcta. Los resultados se presentan en la rejilla 4.

Pregunta	Resultado
<p>Teniendo en cuenta la siguiente ecuación: $I_2 + KOH \rightarrow KI + KIO_3 + H_2O$</p> <p>Si reaccionan 8 moles de I_2 con 8 moles de KOH, en relación con el reactivo límite se puede afirmar que:</p> <ol style="list-style-type: none"> No hay reactivo límite porque hay una proporción de 1:1 en la ecuación. El reactivo límite es el KOH y sobran 2 moles de I_2. El reactivo límite es el I_2 y sobran 4 moles de KOH El reactivo límite es el KOH y sobran 4 moles de I_2 	

Rejilla 4. Ilustración de una actividad de evaluación y sus resultados, para el desarrollo de las habilidades de identificar, clasificar, comparar, cuantificar y comunicar en relación con el concepto de reactivo límite usando un ejercicio de lápiz y papel

Fuente: elaboración propia.

La rejilla 4 muestra en la columna de la izquierda la pregunta planteada y las opciones de respuesta respectivas, cada una de las cuales tenía una intención específica. La primera permitía identificar a los estudiantes que balancean la ecuación para realizar los cálculos; la segunda, a los que aun cuando son conscientes de la importancia de balancear la ecuación lo hicieron de forma incorrecta, y las opciones 3 y 4 tienen en común que concuerdan con la ecuación balanceada, pero la diferencia está en la comprensión del concepto de reactivo límite.

Los resultados de las respuestas de los 140 estudiantes a esta pregunta se presentan en la columna del lado derecho de la rejilla 4. Allí se evidencia que el 10,2 % de los estudiantes seleccionaron la opción 1, es decir, que aún no han comprendido la importancia de balancear una ecuación química en el marco de los estudios de estequiometría; el 10,2 % saben la importancia de balancear una ecuación, pero aún no han desarrollado las habilidades para hacerlo de forma acertada, mientras que el 79,6 % del grupo logra balancear la ecuación de forma adecuada, pero no todos han comprendido el concepto de reactivo límite.

Para el desarrollo del ejercicio en descripción, los estudiantes debían combinar tanto el balance de la ecuación química como la comprensión del reactivo límite y del 79,6 % mencionado en el párrafo anterior. El 59,1 % logró realizar las dos actividades planteadas, balancear la ecuación y establecer el reactivo límite. Los datos anteriores evidencian que, del 79,6 % de los estudiantes que balancearon bien la ecuación, el 20,5 % están en proceso de comprensión y construcción del concepto de reactivo límite.

Las respuestas de los estudiantes frente a las evaluaciones planteadas permitieron, por una parte, valorar los avances que tuvieron en la construcción de los conceptos de solución y reactivo límite y, por otra, facilitaron al docente divisar algunas líneas de mejora que debe implementar para fortalecer el desarrollo de habilidades de pensamiento de sus estudiantes. No obstante, lo anterior es pertinente plantear algunos alcances y limitaciones de esta investigación que, de una u otra manera, enmarcan tanto la validez como la contundencia de los resultados presentados. Entre ellos se destacan:

En primer lugar, la realización de la investigación decididamente inmersa en la

cotidianidad propia del desarrollo del currículo de química, acorde con los requerimientos de los estándares del MEN para la educación media. Este hecho limitó el control riguroso de otros factores, como el tiempo de duración de las actividades, su periodicidad y la de las evaluaciones; sobre todo, redujo las posibilidades de un diálogo más reposado y amplio con los estudiantes para escudriñar a fondo sus respectivos avances y dificultades de aprendizaje.

En segundo lugar, y muy ligado a lo anterior, la naturaleza propia de la vida institucional, en términos de asignación de responsabilidades laborales a los docentes, condujo a la realización de la investigación con un número diferente de estudiantes en cada bimestre.

Conclusiones

El AC, dentro de las limitaciones propias de la investigación en el aula (entre otras, las mencionadas en la sección anterior), se muestra como una teoría prometedora para ser implementada en el aula de clase en procura de mejorar, por un lado, los procesos de EA, y por otro, el desarrollo de habilidades de pensamiento en los estudiantes. En esta segunda dirección apuntan los resultados obtenidos de la aplicación de la estrategia I4C para los dos conceptos analizados.

Una enseñanza enfocada desde el AC y apoyada en estrategias como la I4C, descrita en este artículo, se muestra potencialmente eficiente para la cualificación de los estudiantes en habilidades de pensamiento como identificar, comparar, clasificar, cuantificar y comunicar, que son deseables en los seres humanos como herramientas para un aprendizaje duradero y, por ende, para el mejoramiento de su desempeño académico.

En general, en la actualidad nuevas perspectivas de enseñanza, como las descritas, no solo en el campo de las ciencias naturales, sino también a nivel de educación en general, están enfocadas hacia el desarrollo de habilidades de pensamiento. Como se mencionó en este artículo, la función didáctica de la educación debe proyectarse al fortalecimiento de las habilidades de pensamiento con prioridad al mero aprendizaje de contenidos. Un estudiante hábil en sus operaciones de pensamiento para clasificar podrá usar esta habilidad en cualquier área del conocimiento, y quizá de su vida cotidiana.

Finalmente, y debido a que los resultados aquí reportados son apenas parciales, se espera que nuevas y más sistemáticas investigaciones y aplicaciones del AC y las metodologías activas, en particular la I4C, asociadas a esta teoría muestren su eficiencia en los procesos de mejoramiento de la calidad de la educación colombiana.

Referencias

- Alonso, J. R. y Alonso, I. (2018). *¿El cerebro nace o se hace? Genes y ambiente*. Bonallegtra. Alcampus.
- Biggs, J. (1999). What the student does: Teaching for enhanced learning. *Higher Education Research & Development*, 18(1), 57-75. <https://doi.org/10.1080/0729436990180105>.
- Biggs, J. y Tang, C. (2006). *Teaching for quality learning at university*. Narcea.
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I, Cognitive domain*. Longmans, Green and Co.
- Bruner, J. (2001). *El proceso mental en el aprendizaje*. Narcea.
- Cárdenas, F. A. (2012). Del conocimiento declarativo al conocimiento funcional: La necesidad de una transformación didáctica. *Actualidades Pedagógicas*, 60, 193-214. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1158&context=ap>.
- Casado, G. y Raviolo, A. (2005). Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación en una reacción química. *Universitas Scientiarum*, 10 (1es), 35-43. <https://www.redalyc.org/pdf/499/49909705.pdf>.
- Castaño-Duque, G. A. y García-Serna, L. (2012). Una revisión teórica de la calidad de la educación superior en el contexto colombiano. *Educación y Educadores*, 15(2), 219-243. <https://educacionyeducadores.unisabana.edu.co/index.php/eye/article/view/2425/2887#:~:text=En%20Colombia%2C%20seg%C3%BAn%20la%20Ley,que%20se%20desarrolla%20cada%20instituci%C3%B3n>.
- Furio, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación Química*, 11, 300-308. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2000.3.66442>.
- García, S., Maldonado, D. y Rodríguez, C. (2014). *Propuestas para el mejoramiento de la calidad de la educación preescolar, básica y media en Colombia*. Cuadernos Fedesarrollo 49. <https://www.compartirpalabramaestra.org/documentos/invescompartir/propuestas-para-el-mejoramiento-de-la-calidad-de-la-educacion-basica-y-media-en-colombia.pdf>.
- Johnstone, A. (2006). Chemical education in Glasgow in perspective. *The Royal Society of Chemistry*, 7(2), 49-63. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.4757&rep=rep1&type=pdf>.
- Liaqat, A. (2018). The design of curriculum, assessment and evaluation in higher education with constructive alignment. *Journal of Education and e-Learning Research*, 5(1), 72-78. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1173088.pdf>.
- Martínez, M. S. (2011). *Identificación y categorización de las dificultades en la lectura y comprensión de los enunciados de problemas de estequiometría en Química Aplicada* [Tesis de maestría]. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/2150/Mart%C3%ADnez%20Identificaci%C3%B3n%20y%20categorizaci%C3%B3n%20de%20las%20dificultades%20en%20la%20lectura%20y%20compresi%C3%B3n%20de%20los%20enunciados%20de%20problemas%20de%20estequiometr%C3%ADa%20en%20Qu%C3%ADmica%20Aplicada%20Tesis%20de%20Maestr%C3%ADa.pdf;sequence=1>
- Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2006). *Estándares básicos de competencia*.

- Norton, L. (2009). Assessing student learning. En F. Heather, K. Steve yM. Stephanie, *A handbook for teaching and learning in higher education: Enhancing academic practice* (3.ª ed.) (pp. 132-149). Routledge.
- Paskevicius, M. (2017). Conceptualizing open educational practices through the lens of constructive alignment. *Open Praxis*, 9(2), 125-140. <https://search.informit.org/doi/pdf/10.3316/informit.913777987233322>.
- Pérez, F. L. (2018). Políticas educativas en Colombia: En busca de la calidad. *Actualidades Pedagógicas*, 71, 193-213. <http://dx.doi.org/10.19052/ap.4430>.
- Restrepo, J. (1998). *Teoría y problemas de química general*. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.
- Rosario, P., Núñez, J. González, J., Almeida, L., Soares, S. y Rubio, M. (2005). El aprendizaje escolar examinado desde la perspectiva del "modelo 3 P" de J. Biggs. *Psicothema*, 17(1), 20-30. <https://www.redalyc.org/pdf/727/72717104.pdf>.
- Sarzoza, S. (2013). Aprendizaje desde la perspectiva del estudiante: Modelo teórico de enseñanza y aprendizaje 3P. *Acción Pedagógica*, 22, 114-121. <http://190.57.147.202:90/xmlui/bitstream/handle/123456789/806/Dialnet-AprendizajeDesdeLaPerspectivaDelEstudianteModeloTe-6223459.pdf?sequence=1>.
- Soler, M. G. (2018). *La enseñanza de las ciencias desde los principios del alineamiento constructivo*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Tuffanelli, L. (2014). *Comprender*. Magisterio.

Forma de citar este artículo

- Umbarila, X. y Cárdenas, F. (2023). La estrategia i4C: una estrategia didáctica para el desarrollo de habilidades de pensamiento y el aprendizaje de la química. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (53), 275-292. <https://doi.org/10.17227/ted.num53-13085>