

La progresión de los aprendizajes sobre la composición, estructura y transformación química de la materia

Learning progression about the composition, structure and chemical transformation of matter

Vicente Talanquer / Department of Chemistry and Biochemistry, University of Arizona, Tucson AZ, 85745 US



resum

Una progresión de aprendizaje es un modelo instruccional sobre cómo organizar mejor los contenidos y las experiencias y evaluaciones de aprendizaje para desarrollar la comprensión de una idea. Se trata de una conjetura sobre cómo organizar y promover la construcción de esta idea con base en resultados de investigaciones educativas. En este artículo se presenta una propuesta sobre cómo organizar la construcción de conceptos e ideas relacionados con la composición, estructura y transformación química de la materia con base en resultados de investigaciones existentes sobre el pensamiento de los estudiantes en estas áreas.

paraules clau

Composició, estructura, progresió de aprenzidzajes, reacció química, sustancia.

abstract

A learning progression is an instructional model for how to best organize the content and the learning experiences and assessments to promote student understanding of an idea. It is a conjecture about how to orchestrate and foster the construction of this idea based on findings from educational research. This paper presents a proposal for how to organize the construction of concepts and ideas related to the composition, structure and chemical transformation of matter based on results from existing research on student reasoning in these areas.

keywords

Chemical reaction, composition, learning progression, structure, substance.

Introducción

Las investigaciones educativas realizadas en los últimos treinta años sobre la comprensión y el aprendizaje del concepto de reacción química por estudiantes en diversos niveles educativos revelan las diversas dificultades a las que se enfrentan la mayoría de ellos para comprender cómo y porqué la materia se transforma. Estos estudios nos proporcio-

nan información sobre ideas y concepciones alternativas que los estudiantes expresan al tratar de dar sentido a los cambios observados cuando diferentes materiales interactúan o son sujetos a distintos tipos de procesos. Aunque investigaciones adicionales son necesarias para adquirir una visión completa sobre cómo las ideas de los estudiantes progresan dependiendo del

currículo utilizado y las experiencias educativas en las que participan, los resultados disponibles sirven de base para discutir cómo estructurar la enseñanza para favorecer aprendizajes significativos en esta área.

En esta contribución se presenta un resumen de la literatura en investigación educativa sobre la comprensión del concepto de reacción química,

poniendo énfasis en estudios que revelan cómo las ideas de los estudiantes parecen progresar a medida que avanzan en sus estudios de química. Los resultados de estas investigaciones se utilizan para introducir una progresión en la construcción de conceptos e ideas que puedan facilitar el aprendizaje de este tema.

Progresiones de aprendizaje

En años recientes ha crecido el interés por desarrollar progresiones de aprendizaje de ideas centrales en diversas disciplinas (NRC, 2007; Duschl *et al.*, 2011). Una progresión de aprendizaje puede concebirse como una propuesta o modelo sobre cómo organizar mejor los contenidos y las experiencias y evaluaciones de aprendizaje para desarrollar la comprensión de una idea. Se trata de conjeturas sobre cómo orquestar mejor la construcción y asimilación significativa de ideas centrales con base en resultados de investigaciones educativas sobre los conocimientos previos y formas de pensar de los estudiantes (Duncan & Gotwals, 2015).

Una progresión de aprendizaje típicamente se representa como una secuencia de etapas en la comprensión de los estudiantes, comenzando con ideas iniciales comunes (lo que constituye el «ancla baja» en la progresión) y culminando con el concepto científico normativo que se desea que los estudiantes construyan (lo que constituye el «ancla alta» en la progresión). Los estadios intermedios de la progresión se definen cuidadosamente para representar el avance de formas de pensar de menos a más sofisticadas. También se espera que la progresión de aprendizaje defina la secuencia de experiencias de aprendizaje que facilitarán que los estudiantes se muevan de una etapa a otra, así

como las demostraciones de aprendizaje que pueden utilizarse para evaluar el progreso de los estudiantes (Duschl *et al.*, 2011).

A la fecha no se han publicado muchos trabajos que presenten progresiones de aprendizaje completas como las descritas en el párrafo anterior. Algunos estudios caracterizan los distintos estadios en una progresión, pero sin incluir las experiencias y demostraciones de aprendizaje asociadas (Stevens *et al.*, 2010; Cooper *et al.*, 2012). Otros investigadores se han enfocado a identificar y describir las formas de pensar de los estudiantes sobre un tema en distintos niveles educativos con el fin de proporcionar las bases cognitivas sobre las que construir progresiones de aprendizaje (Talanquer, 2009; 2018; Hadenfeldt *et al.*, 2016). En este artículo se describen y discuten los resultados de trabajos en esta segunda categoría en el área de reacción química y se utilizan para presentar conjeturas sobre cómo organizar la construcción de ideas sobre la composición, estructura y transformación de la materia.

Lo que sabemos: el concepto de sustancia

Las investigaciones existentes indican que la evolución de las ideas de los estudiantes sobre el concepto de reacción química se relaciona con y depende de cambios en sus conceptualizaciones en otras áreas, como composición y estructura de la materia, propiedades y transformaciones físicas de la materia y conservación de la materia (Liu & Lesniak, 2006; Hadenfeldt *et al.*, 2016). En particular, diversos autores han señalado que la comprensión de las propiedades y transformaciones químicas de la materia se vincula estrechamente con sus ideas sobre el concepto de sustancia (Johnson, 2000; Johnson & Papageorgiou,

2010). Es por ello que la construcción de cualquier progresión de aprendizaje sobre reacción química debe atender al desarrollo de ideas sobre composición y estructura de las sustancias.

Las ideas iniciales de los niños sobre la materia están íntimamente relacionadas con sus experiencias con distintos objetos (Krnel *et al.*, 2003). De hecho, muchos de ellos no necesariamente distinguen entre un objeto y el material del que está hecho y pueden usar las propiedades del objeto, como su tamaño y forma, para diferenciar o clasificar materiales. En estas etapas iniciales, los estudiantes distinguen a los objetos o materiales con base en su apariencia, su origen o su uso (Wiser & Smith, 2008). Por ejemplo, pueden considerar que distintos tipos de sales de color blanco son el mismo material, o pensar que el alcohol proveniente de la fermentación de plantas es distinto del sintetizado en una fábrica.

Dado el rol central que las propiedades perceptibles de los materiales, como su color, textura o brillo, tienen en la diferenciación de materiales en la infancia (Liu & Lesniak, 2006), es de esperar que los estudiantes tengan dificultades para reconocer y aceptar la distinción entre materiales que son mezclas y materiales que están compuestos por una sola sustancia, particularmente en el caso de sistemas homogéneos. Las similitudes o diferencias perceptibles pueden llevar a los niños a considerar que dos sustancias distintas son el mismo material (por ejemplo, considerar que el alcohol es como agua pues los dos son líquidos transparentes) o pensar que una misma sustancia se trataría en realidad de dos materiales diferentes (por ejemplo, considerar que el hierro sólido es distinto del hierro en polvo).

La diferenciación que los niños tienden a hacer entre los distintos materiales no se basa en su composición química sino en su apariencia, origen o función. Sus ideas sobre la composición de los materiales típicamente se refieren a componentes físicos visibles, como la arena está compuesta de pequeños granos y la sal está compuesta de pequeños cristales. Los estudiantes frecuentemente usan una combinación de propiedades extensivas e intensivas para distinguir a los materiales, y las propiedades que utilizan pueden variar dependiendo del contexto o de sus conocimientos o experiencias previas particulares.

La investigación educativa en esta área sugiere que el desarrollo del concepto de sustancia y su distinción del concepto de mezcla toma tiempo y seguramente ocurre de manera fragmentada. Por ejemplo, la distinción puede darse más fácilmente en sistemas compuestos por sólidos homogéneos y heterogéneos que en el caso de gases. El avance conceptual en esta área parece demandar que los estudiantes (Ngai *et al.*, 2014):

- reconozcan que las diferencias entre distintos materiales pueden atribuirse a la presencia de distintos constituyentes con propiedades distintas;

- distingan entre las propiedades del material y las del objeto, prestando más atención a propiedades intensivas cuantificables que a diferencias superficiales, y

- reconozcan las limitaciones de las propiedades perceptibles de los materiales como herramientas para diferenciarlos y acepten y comprendan la necesidad de identificar y medir propiedades intensivas características (como puntos de ebullición o fusión).

El desarrollo de las ideas de los estudiantes sobre propiedades intrínsecas de los materiales, tanto

físicas como químicas, es de central importancia para construir el concepto de sustancia química. Las investigaciones existentes sugieren que muchos estudiantes conciben algunas propiedades, como el color o el olor, como entidades separadas o separables de las sustancias mismas (Sanmartí *et al.*, 1995). Esto es, las tratan como entidades cuasi materiales que pueden añadirse o removerse durante un proceso sin que cambie la identidad de las sustancias. Por ejemplo, hay estudiantes que consideran que el resultado de la oxidación de un metal sigue siendo el mismo metal, pero con otro color adquirido durante el proceso (Nieswandt, 2001). Estas ideas llevan a los estudiantes a concebir las sustancias como mezclas de distintos componentes responsables de las propiedades observadas, y a considerar que las propiedades de un material resultan del promedio ponderado de las propiedades de estos componentes (Talanquer, 2008), algunos de los cuales pueden escapar o acumularse en distintas proporciones durante distintos procesos sin cambio en la identidad de las sustancias.

La evolución de las ideas de los estudiantes sufre cambios importantes cuando se introducen modelos sobre la composición y estructura de la materia a nivel submicroscópico. Los estudiantes generalmente adoptan y adaptan estas ideas creando modelos híbridos en los que las partículas inicialmente se conciben como otro componente embebido en el material o como pequeños fragmentos del material mismo (macropartículas). La conceptualización de átomos y moléculas como partículas que poseen las propiedades de la sustancia macroscópica es difícil de modificar y reaparece en distintos contextos en las explicaciones de los estudiantes inclu-

so al nivel universitario (Talanquer, 2018). La idea de que las distintas propiedades medibles de las sustancias emergen de la interacción dinámica entre partículas con una composición atómica y estructura características (micropartículas) en muchos casos no se consolida hasta cursos avanzados.

Las dificultades que tienen los estudiantes para diferenciar la composición y estructura submicroscópica de distintos materiales en sus primeros cursos de química son similares a las que los niños enfrentan para distinguir diferentes tipos de materiales a nivel macroscópico. Su atención tiende a centrarse más en las diferencias explícitas, como el tipo y número de átomos reflejados en la fórmula química de una sustancia, que en las implícitas, como tipo de enlace, geometría molecular e interacciones intermoleculares. Así, muchos estudiantes conciben los compuestos químicos como mezclas de átomos de distintos tipos y consideran que las propiedades de los compuestos son una combinación de las propiedades de estos átomos (Talanquer, 2008). Desde esta perspectiva, no es de sorprender que los alumnos consideren que cuando el agua hierve las burbujas que se forman contienen hidrógeno y oxígeno (los dos componentes elementales que los alumnos reconocen como gases).

En general, muchos estudiantes no establecen conexiones adecuadas entre los modelos submicroscópicos que se les presentan y las sustancias o materiales que buscan modelar. Las conexiones iniciales entre composición-estructura-propiedad se basan en la idea de que las partículas componentes de un sistema tienen las mismas propiedades que se observan a nivel macroscópico (por ejemplo, los átomos de cobre son rojos y

maleables). Las representaciones simbólicas de las sustancias se interpretan de manera superficial, con poca atención a la información implícita que comunican (Talanquer, 2018). De ahí que para muchos estudiantes la única distinción clara entre el monóxido de carbono CO(g) y el óxido de magnesio MgO(s) sea la presencia de dos tipos diferentes de átomos, y no la diferencia en la naturaleza de las interacciones intra e intermoleculares en cada sustancia.

Lo que sabemos: el concepto de reacción química

Diferentes autores han investigado las ideas que los estudiantes manifiestan sobre distintos tipos de transformaciones de la materia (Johnson, 2000; Liu & Lesniak, 2006; Hadenfeldt et al., 2016). En general, las ideas de sentido común están guiadas por características perceptibles de los fenómenos analizados. Por ejemplo, los niños pueden considerar que la materia se conserva en procesos que no provocan cambios visibles en el volumen o apariencia de un sistema, pero juzgar que la masa disminuye en procesos como la combustión de madera donde se producen gases y el volumen de los componentes sólidos disminuye considerablemente. De manera similar, los niños pueden considerar que una sustancia colorida persiste al disolverla en agua, pero expresar que una sustancia desaparece si genera una solución incolora.

Las investigaciones existentes sugieren que las características específicas de cada proceso, junto con los conocimientos y las experiencias previas de cada estudiante, influyen sobre qué aspectos de un proceso se consideran relevantes para analizarlo o explicarlo. Por ejemplo, en procesos como la oxidación de metales los estudiantes tienden a

considerar que la identidad del metal se conserva durante la reacción (Nieswandt, 2001). Sin embargo, en procesos que generan gases como reactivos, sus ideas pueden depender del proceso del que se trata. En algunos casos, como la ebullición del agua, los estudiantes pueden considerar que los componentes elementales se separan, mientras que en otros casos, como la reacción entre un mineral calcáreo y un ácido, pueden pensar que el ácido libera el aire contenido dentro del material sólido.

En general, los estudiantes inicialmente consideran que los cambios en los materiales se producen por la acción de un agente externo que los provoca, ya sea por calentamiento, enfriamiento, o espontáneamente al poner diferentes materiales en contacto (Talanquer, 2018). Estas ideas parecen evolucionar cuando los estudiantes son introducidos a modelos corpusculares de la materia que favorecen la atribución de causalidad a componentes internos de un sistema. En estos casos, es común que los estudiantes consideren que los cambios observados resultan de la acción de un agente interno con alguna propiedad característica o cierta intencionalidad. Por ejemplo, las ideas de que los átomos reaccionan para ganar cierto número de electrones, o que hay compuestos que atacan a otros con el fin de ganar estabilidad, son expresadas de manera común por estudiantes en todos los niveles educativos para justificar diversas reacciones químicas.

Algunas investigaciones sugieren que la introducción de modelos submicroscópicos sobre la composición y estructura de la materia ayudan a los estudiantes a desarrollar ideas centrales tales como la conservación de la masa

durante procesos físicos y químicos, la conservación de la identidad de las sustancias durante cambios físicos y la no conservación de identidad durante cambios químicos (Johnson & Papa-georgiou, 2010). Los modelos submicroscópicos también apoyan el desarrollo de explicaciones sobre cómo y por qué ocurren las reacciones químicas. Sin embargo, los estudiantes manifiestan diferentes niveles de dificultad en el uso de estos modelos para analizar y explicar distintos tipos de reacciones. Por ejemplo, los estudiantes utilizan estos modelos de manera más adecuada para analizar reacciones de doble desplazamiento que dan lugar a un precipitado que para dar sentido a reacciones de descomposición de compuestos químicos (Yan & Talanquer, 2015).

Existen una gran variedad de estudios sobre las ideas de los estudiantes en referencia a diferentes aspectos de las reacciones químicas, como su direccionalidad, la naturaleza del equilibrio químico y la velocidad de estos procesos. También se han realizado investigaciones sobre concepciones de los estudiantes sobre diferentes tipos de reacciones, como procesos ácido-base, óxido-reducción, o de síntesis de sustancias químicas. Aunque la progresión de ideas en cada una de estas áreas tiene características distintivas, en general se encuentra que los estudiantes inicialmente basan sus análisis en suposiciones de sentido común sobre las propiedades de las sustancias; se guían por características explícitas de las representaciones utilizadas (por ejemplo, tipo y número de átomos en las fórmulas químicas de las sustancias involucradas); típicamente hacen predicciones o toman decisiones con base en la propiedad más distintiva identificada, y atribuyen intencionalidad

a los cambios observados (Talanquer, 2018). Esta forma de razonar es persistente y tiende a evolucionar de manera fragmentada y contextualizada. Esto es, los estudiantes pueden aprender a pensar de manera más normativa en ciertas áreas y mantener su razonamiento intuitivo en otras. La progresión tiende a ser lenta y un gran número de estudiantes manifiesta poco avance significativo en sus formas de razonar al finalizar cursos de química tradicionales.

Implicaciones para la enseñanza

Los resultados de las investigaciones educativas resumidos en las secciones anteriores han sido utilizados por algunos autores para proponer progresiones en la introducción de conceptos e ideas en los distintos niveles educativos que favorezcan el desarrollo de aprendizajes significativos sobre composición, estructura y transformación de la materia (Smith *et al.*, 2006; NRC, 2007; 2012; Wisner & Smith, 2008; Johnson & Tymms, 2011). En las tablas 1 y 2 se presenta una versión condensada y adaptada de progresiones propuestas a lo largo de distintas dimensiones importantes como composición, estructura, causalidad y mecanismo. En estas tablas las ideas se organizan en bloques asociados a distintos grados escolares preuniversitarios y se distinguen conceptos y modelos correspondientes a distintas escalas de descripción (macroscópica, corpuscular, atómica, subatómica).

En general, la progresión en las distintas dimensiones se inicia con la observación, análisis y reflexión sobre las propiedades macroscópicas perceptibles y medibles de materiales sólidos y líquidos comunes y de transformaciones simples que involucran cambios de forma o de apariencia. Se pone énfasis en la diferencia-

ción de conceptos tales como objeto, material, mezcla y sustancia y en el reconocimiento de que los cambios en la materia resultan de interacciones que involucran intercambios de energía de distintos tipos (mecánica, térmica, eléctrica). Se busca que los estudiantes reconozcan propiedades intensivas características y cuantificables que pueden utilizarse para identificar y distinguir las distintas sustancias. Adicionalmente se propone centrar la atención de los estudiantes en propiedades que cambian y se conservan durante distintos tipos de transformaciones, y en el análisis de diferencias y similitudes entre varios procesos en distintas dimensiones (material, energética, temporal).

En la progresión resumida en las tablas 1 y 2 se considera que los análisis y discusiones sobre composición, estructura y transformación de la materia en la escuela primaria deben mantenerse en el nivel macroscópico, pero ayudando a los estudiantes a reconocer que la materialidad e identidad de las sustancias se conserva aún cuando una muestra se divida en fragmentos imperceptibles. Esta idea es central para introducir el modelo corpuscular de la materia en la escuela media o secundaria, el cual se propone como modelo fundamental a construir, aplicar y evaluar en este nivel educativo. El modelo corpuscular que se resalta va más allá del modelo físico tradicional utilizado para explicar cambios de estado, ya que se propone trabajar con un modelo corpuscular químico que asocia diferencias en identidad y propiedades de las sustancias con diferencias en la composición interna, tamaño, forma y fuerzas de interacción entre las partículas que las componen. En la progresión propuesta, este modelo se

propone como ancla central en la explicación de diferencias y similitudes en los cambios materiales, energéticos y temporales que caracterizan a distintas transformaciones físicas y químicas.

Varios autores consideran que la introducción de un modelo corpuscular químico de la materia apoya la construcción del concepto de reacción química (Johnson & Papageorgiou, 2010; Johnson & Tymms, 2011). También facilita la introducción del modelo atómico que facilita a su vez la diferenciación de conceptos importantes como sustancia elemental y compuesto químico, y fortalece la aceptación de la idea de conservación de la materia en transformaciones que ocurren en sistemas cerrados. En la progresión que se resume en las tablas 1 y 2 se propone trabajar con modelos atómicos simples y modelos subatómicos sencillos de capas de electrones que pueden ser utilizados para explicar diferencias en las propiedades físicas y químicas de las sustancias con base en la existencia de diferentes tipos de enlace químico e interacciones intermoleculares.

Comentarios finales

Diferentes aspectos de la progresión de aprendizaje resumida en las tablas 1 y 2 han sido validados a través de investigaciones educativas en el área. Sin embargo, es necesario más trabajo para determinar el tipo de actividades de aprendizaje que mejor apoyan el avance de los estudiantes a lo largo de la progresión y para desarrollar evaluaciones que permitan determinar de manera válida y confiable el nivel de avance de cada estudiante a lo largo de la secuencia. La progresión propuesta no debe considerarse como un modelo instruccional rígido y

| Composición y estructura de la materia | | | | | | |
|--|--|---|---|--|---|---|
| | Primaria Baja (C1-3: 6-8 años) | Primaria Alta (C4-6: 9-11 años) | Escuela Media (C7-9: 12-14 años) | | Escuela Media Superior (C10-12: 15-17 años) | |
| Dimensión/ Escala | Macroscópica | Macroscópica | Macroscópica | Corpuscular | Atómica | Subatómica |
| Composición | Existen diferentes tipos de materiales que se utilizan para elaborar diferentes objetos. | La mayoría de los materiales que utilizamos son mezclas de distintos componentes. | Los componentes fundamentales de los materiales pueden ser sustancias elementales o sustancias compuestas (compuestos químicos). | Las distintas sustancias difieren en el tipo de partículas que las componen a nivel submicroscópico. | Las sustancias elementales están compuestas por átomos del mismo tipo mientras que los compuestos están constituidos por átomos de tipos distintos. | Los distintos tipos de átomos están constituidos por distintos números de protones y electrones. |
| Estructura | Los objetos pueden construirse a partir de piezas más pequeñas. | Los materiales pueden subdividirse en piezas más pequeñas hasta el punto de que estas piezas se vuelven imperceptibles. | | <ul style="list-style-type: none"> Las sustancias pueden modelarse como compuestas por partículas submicroscópicas en constante movimiento e interacción. Las partículas de distintas sustancias difieren en su composición interna, tamaño, forma y en la fuerza de atracción entre ellas. | Los diferentes tipos de átomos que componen a las distintas sustancias se enlazan y organizan en diferentes formas, como moléculas, redes covalentes, iónicas o metálicas. | La organización atómica en las sustancias está determinada por las interacciones entre protones y electrones de los átomos constituyentes. |
| Propiedades | <ul style="list-style-type: none"> Los objetos tienen distintas propiedades extensivas que pueden medirse (masa, peso, volumen). Los materiales tienen distintas propiedades características que no dependen de la cantidad (color, dureza, flexibilidad). | Ciertas propiedades intensivas de los materiales pueden usarse para identificarlos y clasificarlos en distintos grupos con propiedades similares. | Cada sustancia tiene propiedades características que la distinguen de las demás. Estas propiedades pueden utilizarse para identificarlas, detectarlas, separarlas o cuantificarlas. | <ul style="list-style-type: none"> Las propiedades características de las sustancias no son las mismas que las propiedades de las partículas que las componen. Las propiedades macroscópicas medibles emergen del movimiento e interacción entre la multitud de partículas componentes. | <ul style="list-style-type: none"> Los átomos en sustancias de una misma clase interactúan y se organizan en formas similares. La organización atómica afecta las interacciones entre componentes submicroscópicos que determinan las propiedades medibles de las sustancias. | Las propiedades de las sustancias dependen de cómo se distribuyen los electrones de valencia entre los átomos que las componen y de las interacciones atómicas y moleculares resultantes. |
| Tipos de materia | Hay distintos materiales sólidos así como diferentes materiales líquidos. | Hay distintos materiales que existen en estado gaseoso. | <ul style="list-style-type: none"> Una misma sustancia puede existir en estado sólido, líquido o gaseoso. Hay distintos tipos de sustancias con propiedades comunes, como metales, no metales, ácidos, bases. | <ul style="list-style-type: none"> Los distintos estados o fases de una sustancia difieren en la posición relativa y movimiento de las partículas que la componen. Las sustancias de una misma clase están constituidas por partículas que interactúan de manera similar entre ellas o con otras sustancias. | Sustancias de una misma clase (metales, no metales, compuestos iónicos) se caracterizan por tener organizaciones e interacciones atómicas (enlaces químicos) similares. | Sustancias de una misma clase se caracterizan por tener distribuciones electrónicas en sus átomos, iones o moléculas con características comunes. |

Tabla 1. Progresión en la construcción de conceptos e ideas relacionados con la composición y estructura de la materia.

| Transformación de la materia | | | | | | |
|-----------------------------------|--|---|--|---|--|---|
| | Primaria Baja (C1-3: 6-8 años) | Primaria Alta (C4-6: 9-11 años) | Escuela Media (C7-9: 12-14 años) | | Escuela Media Superior (C10-12: 15-17 años) | |
| Dimensión/ Escala | Macroscópica | Macroscópica | Macroscópica | Corpuscular | Atómica | Subatómica |
| Causalidad | Los materiales sufren cambios diversos cuando interaccionamos con ellos o entran en contacto con otros materiales. | Podemos utilizar diferentes tipos de energía para inducir cambios en los materiales (energía mecánica, térmica, eléctrica). | · Muchas sustancias cambian de estado cuando sufren un intercambio de energía. · Muchas sustancias dan lugar a nuevas sustancias cuando interaccionan con otras sustancias o intercambian energía (reacción química). | · Los intercambios de energía causan cambios en la velocidad de las partículas de las sustancias y afectan sus interacciones. · Las interacciones entre distintos tipos de partículas pueden dar lugar a nuevas partículas con distinto tamaño, forma e interacción entre ellas. | Los intercambios de energía y las interacciones entre los átomos de distintas sustancias pueden dar lugar a redistribuciones atómicas responsables de la formación de nuevas sustancias. | Los intercambios de energía y las interacciones entre electrones y protones en los átomos de distintas sustancias causan redistribuciones electrónicas. |
| Mecanismo | | | | · Durante un cambio de estado, las partículas de las sustancias cambian su posición relativa como resultado de la energía intercambiada. · Interacciones electrostáticas entre las partículas de distintas sustancias pueden dar lugar a nuevas entidades corpusculares. | En una reacción química, colisiones entre partículas producen una ruptura de enlaces químicos entre átomos de los reactivos, lo que causa reagrupaciones atómicas y formación de nuevos enlaces. | Las interacciones entre electrones y protones en las distintas partículas que participan en una reacción química dan lugar a redistribuciones atómicas. |
| Conservación de la materia | Hay transformaciones en las que la cantidad de materia no cambia (cambio de forma en sólidos y líquidos). | Hay transformaciones en las que la cantidad de materia no cambia (disolución, cambios de volumen en gases). | Hay transformaciones en las que la cantidad de materia no cambia (disolución, cambios de fase, reacciones químicas). | El número de partículas que componen a una sustancia no cambia durante cambios de fase en sistemas cerrados. | El número de átomos de cada tipo no cambia durante transformaciones físicas y químicas en sistemas cerrados. | |
| Intercambio de energía | | Algunos cambios requieren energía y otros producen energía (o es necesario extraer energía para que se lleven a cabo). | Algunos cambios de estado requieren energía para llevarse a cabo (endotérmicos) mientras otros generan energía (exotérmicos). | En procesos endotérmicos las partículas que componen a las sustancias pasan de estados de menor a mayor energía potencial. Lo opuesto sucede en procesos exotérmicos. | La energía absorbida o liberada en una reacción química resulta del balance entre la energía requerida para romper enlaces y la energía producida cuando nuevos enlaces se forman. | |
| Cambio en el tiempo | Los materiales sufren cambios en distintas escalas de tiempo. | La rapidez de los cambios típicamente se incrementa al aumentar la temperatura. | La rapidez de los cambios depende de diversos factores, como temperatura, concentración, área de contacto. | La rapidez de los procesos depende de la velocidad de las partículas y su concentración en un sistema. | La rapidez de las reacciones químicas se puede entender en términos de frecuencia de colisiones, orientación molecular y energía necesaria para inducir reacomodos atómicos. | |

Tabla 2. Progresión en la construcción de conceptos e ideas relacionados con la transformación de la materia.

único. Es posible que, dependiendo del contexto y del tipo de estudiantes con los que se trabaja, alteraciones en la progresión resulten beneficiosas para favorecer el aprendizaje. La progresión es parte de un modelo instruccional tentativo que sirve para guiar, orientar y coordinar el trabajo de docentes en diversos niveles educativos, pero debe adaptarse a las condiciones particulares de cada sistema educativo, en cada escuela y en cada aula.

Referencias

- COOPER, M. M.; UNDERWOOD, S. M.; HILLEY, C. Z.; KLYMKOWSKY, M. W. (2012). «Development and assessment of a molecular structure and properties learning progression». *J. Chem. Educ.*, n.º 89, p. 1351-1357.
- DUNCAN, R. G.; GOTWALS, A. W. (2015). «A tale of two progressions: on the benefits of careful comparisons». *Sci. Educ.*, n.º 99, p. 410-416.
- DUSCHL, R.; MAENG, S.; SEZEN, A. (2011). «Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis». *Stud. Sci. Educ.*, vol. 47, n.º 2, p. 123-182.
- HADENFELDT, J. C.; NEUMANN, K.; BERNHOLT, S.; LIU, X.; PARCHMANN, I. (2016). «Students' progression in understanding the matter concept». *J. Res. Sci. Teach.*, n.º 53, p. 683-708.
- JOHNSON, P. (2000). «Children's understanding of substances, part 1: Recognizing chemical change». *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 22, n.º 7, p. 719-737.
- JOHNSON, P.; PAPAGEORGIOU, G. (2010). «Rethinking the introduction of particle theory: A substance-based framework». *J. Res. Sci. Teach.*, vol. 47, n.º 2, p. 130-150.
- JOHNSON, P.; TYMMS, P. (2011). «The emergence of a learning progression in middle school chemistry». *J. Res. Sci. Teach.*, n.º 48, p. 849-877.
- KRNEL, D.; GLAZAR, S. A.; WATSON, R. (2003). «The development of the concept of "matter": A cross age study of how children classify materials». *Sci. Educ.*, n.º 87, p. 621-639.
- LIU, X.; LESNIAK, K. (2006). «Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school». *J. Res. Sci. Teach.*, vol. 43, n.º 3, p. 320-347.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2007). *Taking science to school: learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academies Press.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2012). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- NGAI, C.; SEVIAN, H.; TALANQUER, V. (2014). «What is this substance? What makes it different? Mapping progression in students' assumptions about chemical identity». *Int. J. Sci. Educ.*, n.º 36, p. 2438-2461.
- NIESWANDT, M. (2001). «Problems and possibilities for learning in an introductory chemistry course from a conceptual change perspective». *Sci. Educ.*, n.º 85, p. 158-179.
- SANMARTÍ, N.; IZQUIERDO, M.; WATSON, R. (1995). «The substantialisation of properties in pupil's thinking and in the history of science». *Sci. & Educ.*, n.º 4, p. 349-369.
- SMITH, C.; WISER, M.; ANDERSON, C. W.; KRAJCIK, J. (2006). «Implications of research on children's learning for assessment: Matter and atomic molecular theory». *Measurement*, n.º 14, p. 1-98.
- STEVENS, S.; DELGADO, C.; KRAJCIK, J. S. (2010). «Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter». *J. Res. Sci. Teach.*, n.º 47, p. 687-715.
- TALANQUER, V. (2008). «Students' predictions about the sensory properties of chemical compounds: Additive versus emergent frameworks». *Sci. Educ.*, n.º 92, p. 96-114.
- (2009). «On cognitive constraints and learning progressions: the case of structure of matter». *Int. J. Sci. Educ.*, n.º 31, p. 2123-2136.
- (2018). «Progression in reasoning about structure-property relationships». *Chem. Educ. Res. Pract.*, n.º 19, p. 998-1009.
- WISER, M.; SMITH, C. L. (2008). «Learning and teaching about matter in Grades K-8: When should the atomic-molecular theory be introduced?». En: VOSNIADOU, S. (ed.). *International handbook of research on conceptual change*. Nueva York, NY: Routledge, p. 205-239.
- YAN, F.; TALANQUER, V. (2015). «Students' Ideas about how and why chemical reactions happen: mapping the conceptual landscape». *Int. J. Sci. Educ.*, n.º 37, p. 3066-3092.



Vicente Talanquer

Profesor en la Universidad de Arizona. Autor o coautor de más de diez libros de primaria y secundaria y de más de cien artículos arbitrados de investigación en educación química y pensamiento docente. Su trabajo se centra en el estudio de las formas de razonamiento de los estudiantes y de los profesores de química.
C. e.: vicente@arizona.edu