

Sustancias en el agua: progresiones de aprendizaje para diseñar intervenciones curriculares

Iván Salinas,¹ Beth A. Covitt² y Kristin L. Gunckel³

ABSTRACT (Substances in Water: Learning Progressions for Designing Curricular Interventions)

In this article, we present a learning progression framework for connecting chemistry curriculum to student reasoning about substances mixing in water and moving through environmental systems. We argue that model-based understanding of solutions and suspensions is necessary for informed engagement in public debate about environmental issues. Curriculum and instruction that supports students in developing this model-based reasoning must be responsive to student ways of viewing the world and support students in developing more model-based perspectives. We present an evidence-based learning progression for substances in water and propose principles for curriculum design and teaching of general chemistry topics based on this learning progression that attends to student thinking. We contend that a focus on students' meaning-making processes can inform the development and influence of chemistry knowledge in the public debate about water resources and environmental issues about water.

KEYWORDS: learning progressions, water, solutions, teaching, curriculum design

Introducción

Desde una perspectiva de la educación para la alfabetización ambiental sobre el agua, es importante contribuir a la formación de ciudadanía que promueva la participación científicamente informada de los individuos en las decisiones colectivas sobre el uso de recursos naturales y la respuesta a problemas ambientales globales y locales (Covitt, Gunckel, & Anderson, 2009; Gunckel *et al.*, 2012a; Gunckel *et al.*, 2012b). Lo anterior requiere que los ciudadanos puedan evaluar información científica y argumentos cuya base está en los modelos científicos que explican los fenómenos del agua. Uno de estos argumentos se da en la construcción de modelos que expliquen y predigan cómo es que las sustancias en el agua se mezclan, mueven y separan en y a través de diversos sistemas socio-ecológicos (Gunckel *et al.*, 2012b). Ello tiene directa relación con la enseñanza de conceptos químicos como la solubilidad y el equilibrio químico.

Esta perspectiva de alfabetización ambiental contrasta con algunas propuestas pedagógicas. Por ejemplo, cursos introductorios de química suelen estructurar la enseñanza de la solubilidad con base en modelos construidos en sistemas aislados (laboratorio), con base en representaciones que intercambian los aspectos simbólicos, macroscópicos y

microscópicos del estudio de las soluciones, o como reglas con definiciones ambiguas de solubilidad y deficiencias en las exposiciones conceptuales (ej., Blake, 2003; Bruck & Bruck, 2010; Lichter, 2012). En este texto presentamos la perspectiva de las Progresiones de Aprendizaje para la Alfabetización Ambiental, considerando su potencial aporte a las orientaciones para enseñar sobre las sustancias en el agua.

En las siguientes líneas de este escrito explicamos brevemente nuestra experiencia y la perspectiva que promovemos para entender las progresiones de aprendizaje (PA). A través de ejemplos y pruebas, ilustramos la PA de sustancias en el agua que hemos propuesto. Luego discutimos cómo esta PA puede orientar la organización de la enseñanza sobre sustancias en el agua. Previo a ello hacemos una breve reseña sobre las PA.

Reseña de las progresiones de aprendizaje

En la tradición de investigación en educación científica, particularmente la estadounidense, los intentos de reforma educativa han impulsado el desarrollo, desde el año 2005, de la línea de investigación denominada "progresiones de aprendizaje en educación científica" (Duschl, Schweingruber, & Shouse, 2007; Earle, 2011). Las progresiones de aprendizaje en la educación científica surgen como una exploración de la secuencia en que los estudiantes desarrollan explicaciones más sofisticadas sobre fenómenos naturales en el marco de una "gran idea", que corresponde a un concepto central y/o principio organizador de una disciplina (Smith *et al.*, 2006). Esta línea de trabajo ha llamado la atención de varios investigadores, que han desarrollado productivamente PA en diversas temáticas (Alonzo & Gotwals,

¹ Department of Teaching, Learning and Sociocultural Studies, University of Arizona, Tucson, AZ 85721.

* Corresponding author: isalinas@email.arizona.edu

² Environmental Studies Program, University of Montana, Missoula, MT 59812.

³ Department of Teaching, Learning and Sociocultural Studies, University of Arizona, Tucson, AZ 85721.

2012; Duncan & Hmelo-Silver, 2009; Duncan, Rogat, & Yarden, 2009; Duschl, Maeng, & Sezen, 2011; McGinnis & Collins, 2009; Mohan, Chen, & Anderson, 2009; Plummer & Krajcik, 2010). La invitación a este número de *Educación Química* define las PA como “modelos curriculares que describen con palabras y ejemplos secuencias de aprendizaje a través de las cuáles se propone que los estudiantes prosperen hacia un entendimiento de carácter más experto” (Garritz & Talanquer, 2012). Las PA describen los cambios en la sofisticación de la comprensión de una gran idea en un periodo de tiempo amplio, mediante niveles de sofisticación o conexiones lógicas, siendo los niveles extremos las “anclas” (Mohan *et al.*, 2009; Salinas, 2009). El ancla inferior supone una descripción de la comprensión que existe en estudiantes menos experimentados al iniciar una experiencia de instrucción (por ejemplo, al comenzar la escolaridad), mientras que el ancla superior describe expectativas de sofisticación una vez completados periodos extensos de instrucción. La forma de transición entre ambas anclas es inferida a partir de la interpretación del desempeño de los estudiantes en evaluaciones *ad-hoc*.

La educación química ha sido un tópico importante dentro de las grandes ideas con que se han desarrollado las PA. Talanquer (2013) compila algunas de estas grandes ideas, como por ejemplo que “átomos, moléculas, e iones son los componentes básicos de la materia”, que “toda la materia está constituida por átomos”, y que “átomos y moléculas están en movimiento constante”. Algunos investigadores han explorado y propuesto PA sobre la materia y el modelo atómico (Smith *et al.*, 2006), y sobre la incorporación y conexión de ideas entre modelos de estructura atómica y las fuerzas eléctricas que gobiernan las interacciones a las escalas nano, molecular, y atómica (Delgado & Krajcik, 2009). Estos temas coinciden con ideas compiladas por Talanquer (2013), como que “los enlaces químicos se forman por atracciones electrostáticas entre centros cargados positivamente y electrones de valencia cargados negativamente”, y que “las intensas fuerzas electrostáticas de atracción que mantienen los átomos en unidad son llamadas enlaces químicos”. En el apartado siguiente les contaremos sobre nuestra aproximación a las progresiones de aprendizaje.

Nuestra aproximación a las progresiones de aprendizaje

Nos hemos acercado a las PA desde una perspectiva que considera la importancia de la alfabetización ambiental, entendida como la capacidad de usar el conocimiento y prácticas científicas para la participación efectiva en la discusión pública, basada en pruebas, de problemas ambientales, en particular respecto a problemas como la protección de los recursos de agua (Gunckel *et al.*, 2012a). En esta aproximación, hemos buscado la integración de algunos principios de la ciencia y prácticas de explicación y predicción respecto al movimiento del agua y las sustancias en ella a través de sistemas socio-ecológicos. La progresión que pro-

ponemos surge de las interpretaciones y juicios informados sobre el razonamiento de los estudiantes dados sus desempeños en evaluaciones *ad-hoc*.

Entendemos que la PA es dependiente de los modos de instrucción. Hemos desarrollado una PA que informa con pruebas la progresión de aprendizaje en condiciones *statu-quo* de enseñanza, lo que permite establecer una posibilidad inicial de la progresión sin intervenciones curriculares especiales diseñadas de antemano. En particular, concebimos la PA como un proceso en que los estudiantes aprenden una nueva forma de ver y concebir el mundo que los rodea. El ancla inferior, considerada como el momento del comienzo de la escolaridad, se basa en la noción de dinámica de fuerzas, que describe la relación entre entidades (objetos y seres vivos) en relación a las fuerzas, donde objetos son descritos como poseedores de tendencias intrínsecas y poderes compensatorios (Pinker, 2007; Talmy, 1988). Los eventos serían el resultado de la lúdica interacción entre fuerzas, agentes y actores que tienen distintas habilidades de acuerdo a su condición (humanos, animales, plantas, objetos y entidades no vivas). Algunos actores o agentes tienen propósitos, como por ejemplo, una planta tendría el propósito de crecer, mientras algunas entidades no vivas muestran tendencias naturales como moverse cuesta abajo. En suma, la dinámica de fuerzas describe el movimiento del agua y las sustancias en ella en términos de actores y antagonistas, necesidades y habilitadores, y propósitos y resultados (Gunckel *et al.*, 2012a).

En el otro extremo, el ancla superior, describimos un mundo en que los modelos y los principios científicos son la base de las explicaciones de fenómenos que ocurren en sistemas dinámicos y conectados, y que operan a múltiples escalas. Estos modelos permiten explicar y predecir fenómenos dentro de un sistema y entre sistemas (ej.: dentro y entre sistema atmosférico, superficial y subterráneo). Esta ancla superior de la PA está caracterizada por el reconocimiento: 1) de múltiples trayectorias para el movimiento de agua y sustancias en ella a través de sistemas y estructuras; 2) de procesos que ocurren a múltiples escalas —desde la escala del paisaje a la escala atómico-molecular—; 3) de principios científicos, como las fuerzas motrices del agua y las sustancias en ella, o leyes como la de conservación de la materia; 4) de la naturaleza de las representaciones, como mapas y gráficos, como instrumentales para el desarrollo del razonamiento científico, y 5) de la dependencia de los humanos sobre los sistemas ambientales y los límites que imponen las leyes naturales tanto a la iniciativa humana como a la capacidad de los sistemas naturales de proveer agua dulce (Gunckel *et al.*, 2012a).

Los niveles intermedios de la PA son considerados como representaciones referenciales en el progreso hacia patrones más sofisticados de conocimiento y práctica científica. En este caso, los percibimos como referencias para el progreso entre una visión del mundo dominada por la dinámica de fuerzas y una visión basada en el razonamiento científico.

Así, logramos identificar niveles de desempeño que ilustran esta progresión. Uno de éstos, el nivel 3, lo denominamos como el nivel de las “historias de la ciencia escolar”, en que las visiones escolares tradicionales de los procesos como el ciclo del agua son expresadas como una organización de eventos en un orden determinado. Para el caso de este escrito, nos enfocamos en ilustrar el progreso de los estudiantes cuando éstos aprenden sobre sustancias en el agua.

Progresión de aprendizaje sobre sustancias en el agua

La PA sobre sustancias en el agua es un subtópico de la PA de aguas en sistemas socio-ecológicos, cuyos detalles y métodos pueden ser revisados en un trabajo de investigación ya publicado (Gunckel *et al.*, 2012a). Como información general, los ejemplos que usaremos para ilustrar esta progresión provienen de evaluaciones a estudiantes que cursan desde quinto grado hasta el último grado de educación secundaria (*high school*) en escuelas estadounidenses. Las preguntas que se les hicieron a estos estudiantes exploran las diferencias entre suspensiones y soluciones, y el movimiento y separación de sustancias en el agua.

Más que juzgar lo correcto o incorrecto del desempeño de los estudiantes, nuestro enfoque se centra en comprender cuál es la visión del mundo que tiene más sentido para un estudiante al explicar el fenómeno de sustancias en el agua y cómo cambia esa visión a medida que avanza la escolaridad. Al observar la PA, comprendemos que esas visiones del mundo presentan desafíos que deben considerarse como descripciones para informar el diseño de la enseñanza. La PA que hemos propuesto consta de cuatro niveles, o puntos referenciales. Nos referimos acá a dos elementos particulares de la progresión en el razonamiento científico que ilustran la visión de los estudiantes sobre las sustancias en el agua: escala, y sistemas y estructuras.

Escala. Para ilustrar cualitativamente la progresión, presentamos en esta sección ejemplos que son traducciones libres de respuestas de los estudiantes¹ a preguntas sobre: la posibilidad de que la lluvia sea salada en cercanías del océano porque el océano es salado, la posibilidad de que la lluvia esté contaminada si ocurriera en las cercanías de un lago contaminado, ejemplos y dibujos de suspensiones y soluciones, y tratamiento de aguas servidas o agua potable. Los siguientes ejemplos-caso están clasificados en el ancla inferior o nivel 1:

1. No [sería salada la lluvia], porque la lluvia es la misma donde sea que estés o donde sea que vayas.
2. No [estaría contaminada la lluvia]. Porque la lluvia viene desde el cielo.

3. No el agua no será salada porque la lluvia está cayendo hacia abajo pero, no sabe a agua salada.

El razonamiento muestra la posibilidad o no de la ocurrencia del fenómeno en términos de su experiencia sensorial directa con la lluvia, a nivel macroscópico. En general, en este nivel observamos descripciones limitadas a la escala macroscópica sobre los fenómenos y estructuras visibles. El razonamiento hace referencia a experiencias comunes y familiares con el agua, tales como experiencias domésticas con la lluvia o con el agua en el entorno inmediato, como en charcos, canaletas de lluvia, pequeños arroyos y pozas. En el nivel 1 no hay referencias al agua que se encuentra en lugares inaccesibles, como en acuíferos, o formas invisibles del agua, como el agua en estado gaseoso en la atmósfera.

Hacia los niveles intermedios de la progresión se expresa otra visión del mundo, lo que no significa que la anterior sea reemplazada. El nivel 2 de la progresión muestra razonamientos que se enfocan en estructuras o fenómenos entre el nivel macroscópico y el nivel de paisaje. Por ejemplo:

4. Si, el agua contaminada podría evaporarse e irse dentro de una nube y convertirse en lluvia.
5. Si [sería salada la lluvia]. Porque cuando está caliente afuera el sol chupa el agua y más tarde cuando llueva lloverá en todas partes.

Los ejemplos muestran descripciones del seguimiento del agua o las sustancias a lo largo de distancias familiares o visibles (ejemplos 4 y 5). En el nivel 2, se describen conexiones entre arroyos y ríos a los lagos, charcos, o las nubes. Sin embargo, las conexiones a escalas más grandes de paisaje (por ejemplo, más que las visibles en un momento dado) no se presentan, al igual que no se observa el uso de la escala microscópica o atómico-molecular.

En el otro nivel intermedio, nivel 3, los estudiantes comienzan a considerar otras escalas. Por ejemplo:

6. [Las sustancias que estarían en suspensión] Lodo/Polvo. [Las sustancias que estarían en solución] Fertilizante. [Descripción de los dibujos] El dibujo para suspensión muestra tres figuras circulares rodeadas de cadenas de círculos con dos puntos blancos (aparentemente representando moléculas de agua). El dibujo para solución muestra tres ovoides en cuyos extremos se leen signos “+” y “-”.
7. [Las sustancias que estarían en suspensión] Polvo/lodo. [Descripción de los dibujos] El dibujo tiene una clave de interpretación. Círculos blancos representan agua, cuadrados negros representan polvo y están en la parte inferior del dibujo, mientras los círculos blancos están en la parte superior y sobre los cuadrados negros. [Las sustancias que estarían en solución] Bacterias. [Descripción de los dibujos] Círculos blancos representan agua, cuadrados negros representan bacterias. Los

¹ En el anexo 1 se presentan las versiones originales en inglés. La traducción libre no reproduce las faltas ortográficas o gramaticales presentes en las respuestas originales.

cuadrados negros se encuentran entre los círculos blancos.

Al nivel 3 se puede apreciar que el razonamiento considera una escala que varía desde la microscópica a la de paisaje. Se reconocen e identifican las entidades, sustancias y materiales que son más pequeños de lo que se puede observar a ojo desnudo, como las bacterias (ejemplo 7). Sin embargo, en este nivel no se distingue entre escala microscópica y atómico-molecular (ver ejemplo 7). Palabras como átomos y moléculas y su asociación simbólica son usadas a este nivel, pero los procesos, movimientos y cambios al nivel atómico molecular no son explicados (ejemplo 6).

En el ancla extrema superior, el nivel 4 los ejemplos de razonamiento son menos frecuentes en las pruebas:

8. [Las sustancias que estarían en solución] Sal. [Descripción de los dibujos] El dibujo muestra una línea horizontal ondulada, bajo la cual hay tres diagramas de la molécula de agua con iones Cl^- (junto a hidrógenos) y Na^+ (junto a oxígenos)
9. [Las sustancias que estarían en solución] Sal. [Descripción de los dibujos] El dibujo muestra una línea ondulada. Bajo ésta hay símbolos de " Na^+ " and " Cl^- " distribuidos azarosamente.

En este nivel, se incluyen explicaciones y predicciones al nivel atómico molecular. Incluyen también imágenes que ilustran los enlaces iónicos y puentes de hidrógeno (ejemplo 8) y se refieren a ellas para explicar procesos de mezcla o cambios de estado del agua. También se hace referencia a principios como la conservación de la energía.

Sistemas y estructuras. Los sistemas y estructuras son importantes como marco analítico pues permiten identificar cómo es que los estudiantes conceptualizan la mezcla de sustancias en el agua y el movimiento de estas sustancias en y con el agua. Algunos ejemplos en el ancla inferior son:

10. No [sería salada la lluvia]. No porque el agua [del océano] es salada, no la lluvia.
11. No [sería salada la lluvia], No porque no hay forma que el agua pueda devolverse hacia arriba al cielo.

En este nivel 1, el razonamiento se basa en identificar diferentes tipos de agua, como "agua limpia" o "agua oceánica" o "agua sucia." Las descripciones sugieren que el "agua oceánica" o "agua de lluvia" son tipos distintos de agua (ejemplos 1, 10 y 11), sin expresar ideas sobre mezcla de sustancias.

En el nivel 2, se identifican entidades que modifican las cualidades del agua en un sistema. Por ejemplo:

12. No [sería salada la lluvia]. Las nubes separan la sal del agua.
13. No [sería salada la lluvia]. porque el suelo desde donde obtienes tu agua filtra la sal.

También se muestra a las sustancias en el agua como objetos genéricos visibles y vagamente identificados ("basura", "contaminación", o "químicos") como en el ejemplo 14 (abajo). A menudo, en el nivel 2 el razonamiento tiende a exponer juicios sobre el efecto de las sustancias en el agua, como que ésta tenga "buena" o "mala" calidad (ejemplo 15).

14. [Las sustancias que estarían en suspensión] Basura. [Las sustancias que estarían en solución] lodo/polvo. [Descripción de los dibujos] El dibujo de la suspensión muestra una forma rectangular que icónicamente representa una lata de soda etiquetada como "basura". El dibujo de la solución muestra cuatro líneas onduladas distribuidas en el espacio, en conjunto con un grupo de puntos cerca del centro etiquetados como "polvo".
15. No. La lluvia puede ser dura y peligrosa.

Al seguir al nivel 3, se expresa un razonamiento en que se comienzan a identificar diversas sustancias en el agua. Por ejemplo:

16. No [sería salada la lluvia]. porque solo agua se puede evaporar y deja sus impurezas atrás.
17. No [sería salada la lluvia]. Cuando el agua es evaporada la sal no es recogida.
18. El agua no será salada porque durante la evaporación que transforma agua en nubes, la sale es dejada atrás.
19. No, el agua se evapora como agua pura.
20. La lluvia no será salada porque a medida que el agua se evapora la sal se queda donde está porque es muy densa para irse con el agua.

En el nivel 3 se identifican diferentes tipos de sustancias en el agua, como polvo, fertilizantes o sedimentos que pueden mezclarse con agua (ejemplos 6, 7 y 16-19). También se identifica cuáles sustancias podrían estar en suspensión y solución y ocasionalmente se explican y predicen las diferencias en comportamiento de las sustancias en suspensión comparado con las sustancias en solución (ejemplos 6 y 7). Por ejemplo, en este nivel se notará que las sustancias en suspensión eventualmente decantarán, mientras las que están en solución no lo harán. Elementos de las historias de la ciencia escolar se observan en explicaciones incompletas y atribuciones de causalidad cuestionables sobre las razones por las cuales el agua se separa de las sustancias (ejemplos 17-20). En este nivel no hay explicaciones basadas en modelos científicos sobre cómo o por qué las sustancias se comportan como se describe.

En el nivel 4 el razonamiento involucra el seguimiento al agua y las sustancias en ella a lo largo de múltiples trayectorias entre límites visibles e invisibles. Pueden incluir detalles acerca de la estructura y conexiones entre los sistemas hidrológicos. También incluyen trayectorias que no son parte de los cuentos de la ciencia escolar, como las trayectorias a través de sistemas bióticos. Emerge la identificación

de la naturaleza química de las sustancias en el agua y se relacionan con el comportamiento de las sustancias en el agua, como el ejemplo 21. Por sobre todo, lo que se expresa en el nivel 4 es el razonamiento sobre los sistemas basado en principios científicos, como la conservación de la materia o las leyes de atracción y repulsión electrostática.

21. No, la sal no se evapora con el agua porque tiene un punto de ebullición mucho mayor.

Esta descripción ilustrativa de la progresión de aprendizaje en relación a estos dos elementos de razonamiento presenta un desafío curricular cuando se piensa en la enseñanza sobre las sustancias en el agua y la introducción del conocimiento químico de nivel superior. La escala nos lleva a pensar en cómo es que los procesos atómico-moleculares son descritos cuando una sustancia se mezcla con agua (o cualquier otro solvente), mientras que los sistemas y estructuras nos llevan a pensar en el movimiento del agua y las sustancias en ella. En la siguiente sección examinamos algunos desafíos y proponemos algunas orientaciones para diseños curriculares basados en esta PA.

Algunas orientaciones curriculares para la enseñanza de sustancias en el agua basada en progresiones de aprendizaje

Las dos líneas de razonamiento descritas en la sección anterior, escala y sistemas y estructuras, ofrecen una perspectiva para el desarrollo específico de los fundamentos del conocimiento químico de nivel superior. Nuestros resultados sugieren que, al menos en el sistema escolar, existe una alta probabilidad de que los estudiantes entreguen explicaciones que corresponden a los niveles 1 y 2. Los niveles superiores de la progresión aparecen con mucho menor frecuencia (Gunckel *et al.*, 2012a). Considerando esto, cualquier curso introductorio de química presentará el desafío curricular de resolver los nudos críticos de la progresión con el fin de promover la emergencia del razonamiento basado en modelos. Identificamos así orientaciones curriculares que podrían facilitar esta emergencia con base en las líneas de razonamiento sobre la escala y sobre sistemas y estructuras.

Respecto a la escala, podemos afirmar que un punto inicial en el razonamiento es la descripción de los fenómenos basada en la experiencia más directa con el agua, y las percepciones a escalas macroscópicas de éstos. A medida que se avanza en la escolaridad, la escala de paisaje se hace presente en las explicaciones, con la limitación de que no se expande más allá de lo perceptible. En otro nivel de la progresión, los estudiantes reconocen una escala que va más allá de las percepciones, pero no logran diferenciar entre lo microscópico y el nivel de la escala atómico-molecular. En el nivel 4, emerge la representación simbólica y abstracta de la escala atómico-molecular, y ésta se diferencia de la escala microscópica, a la vez que emergen también representaciones de la escala a nivel de paisaje.

Cualquier curso introductorio de química de nivel secundario o superior tendrá el desafío de introducir representaciones simbólicas a escala atómico-molecular sobre lo que pasa con el agua y las sustancias en ella. Estas representaciones se basan en pruebas perceptibles sobre entidades invisibles e imperceptibles, y proponen modelos de estructura que forman las bases de los principios científicos o grandes ideas que explican fenómenos sobre la materia. Por ejemplo, una de las grandes ideas de la química es la afirmación “toda la materia está hecha de átomos” (Talanquer, 2013). Los átomos se encuentran en una escala invisible, y sus representaciones simbólicas son usadas para expresar leyes y principios como los equilibrios de solubilidad, o la ley de conservación de la materia. Esta complejidad entre escala y su representación simbólica ha sido mostrada como un problema en la enseñanza de la química de solubilidad (Bruck & Bruck, 2010). Nuestra perspectiva sugiere que estas representaciones son interpretadas como síntesis de modelos de razonamiento en el ancla superior de la progresión. Sin embargo, a niveles como el nivel 2, estas representaciones pueden ser problemáticas si son introducidas como herramientas de enseñanza sin antes tomar en cuenta el sentido que los estudiantes le puedan dar. Lo anterior justifica la necesidad de considerar que el progreso del razonamiento sobre escala sea un aspecto relevante en la enseñanza de la química.

La perspectiva que presentamos en este texto sugiere que el razonamiento científico emerge como resultado del proceso de instrucción escolar, pero que no solo corresponde al conocimiento, sino también constituyen visiones del mundo y prácticas asociadas a la ciencia. Por ello, una orientación posible para enfrentar el problema de los significados de la representación de entidades y fenómenos a escalas imperceptibles es crear intencionalmente un ambiente donde se pueda construir una visión del mundo que haga necesaria una síntesis mediante representaciones. La sola presentación de los niveles simbólicos de las escalas atómico-molecular, microscópica, y de paisaje no atiende necesariamente a desafiar las concepciones de mundo que tienen los estudiantes. Un principio para un diseño curricular puede ser el desafiar los límites de la percepción de los estudiantes en relación a los fenómenos observables del agua, como la disolución de sustancias en el agua, o el movimiento del agua en la atmósfera.

Respecto a los sistemas y estructuras, las pruebas que presentamos indica que los estudiantes primero comprenden los sistemas de agua como entidades aisladas con características propias y sin conexiones evidentes (ejemplo agua de lluvia, agua de mar, agua sucia, agua limpia). El siguiente nivel en la progresión muestra que los estudiantes comienzan a explicar que el agua puede moverse de un lugar a otro, incluso con agencia de entidades externas (el sol, las nubes), y de un sistema a otro. Los estudiantes también describen que los contaminantes y sustancias disueltas en el agua pueden mezclarse y moverse con el agua cuando

ésta se evapora hacia la atmósfera o se infiltra en el suelo. Algunas sustancias entregarían cualidades al agua, como “buena” o “mala”. El siguiente nivel considera que las sustancias mezcladas con agua tienen distinto comportamiento, como soluciones o suspensiones. Emerge la explicación de las interacciones que existen entre las sustancias y el agua, incluso llegando al nivel simbólico de fuerzas intermoleculares. Luego se observa que los estudiantes incorporan caminos de posibilidad para el movimiento del agua y sustancias en ella. El nivel en que consideramos un razonamiento científico introduce no solo múltiples posibilidades, sino también explicaciones basadas en principios y modelos, como la conservación de la materia, y las leyes físicas de atracción y repulsión electrostática.

Las visiones del mundo que sugiere la PA que proponemos permiten describir situaciones problemáticas con el modelo de razonamiento científico necesario para comprender la química de nivel superior. Por ejemplo, la definición misma de sistemas de agua, tales como una solución, tiene en los niveles inferiores de la progresión visiones diferentes. Inicialmente los estudiantes no consideran ni reconocen a las soluciones como mezclas, sino como “tipos” de agua. Cuando emerge el reconocimiento de las mezclas, se establecen relaciones entre los sistemas que aún no incorporan un razonamiento basado en modelos. Por ejemplo, procesos como enviar contaminantes en solución acuosa a la atmósfera, o considerar que materiales y objetos macroscópicos están en solución son comunes en las explicaciones de los estudiantes. Otra característica del razonamiento más frecuente respecto a sistemas y estructuras es la atribución causal a la ebullición en sí misma como proceso de separación de sustancias del agua —aun cuando sea un cambio de estado que lo permita— y la filtración como proceso de separación de sustancias en solución. Las representaciones de los sistemas y estructuras, y su dinámica, son, tal como en el caso de la escala, una forma de razonamiento científico. El razonamiento científico en torno a los sistemas se basa en representaciones, notaciones como el equilibrio químico, relaciones expresadas como notaciones matemáticas, y esquemas que hacen sentido de una visión del mundo en que las sustancias interactúan con base en leyes naturales y principios, como los ya mencionados de conservación de la materia y de fuerzas electrostáticas. También otras leyes naturales como la gravedad forman parte de la batería de elementos que constituyen la visión del mundo expresada por el razonamiento científico para explicar la relación entre las sustancias, así como principios más específicos que se aplican a situaciones como el equilibrio químico y termodinámica (Pardo, 2002).

Una orientación para los diseños curriculares que surge desde nuestra propuesta de PA tiene relación con la capacidad de definir y establecer relaciones entre los componentes de sistemas conectados. Así, la idea de que existen “ti-

pos” de agua puede contrastarse con experiencias que desafíen a explorar qué entidades constituyen a cada “tipo” de agua. Para el caso de la diferenciación de mezclas, las experiencias debiesen promover un razonamiento sobre qué hace que los componentes de una mezcla se relacionen de forma distinta con el agua, y qué produce el dinamismo entre distintos sistemas. También un currículo debiese promover el razonamiento sobre los eventos o acciones sobre el sistema que conducen a cambios en la relación entre sus constituyentes (ejemplo, calentamiento, evaporación o procesos de filtrado). Así, un principio de diseño curricular sobre sistemas y estructuras sería la promoción de experiencias que ayuden a los estudiantes a razonar mediante el descubrimiento y descripción de la dinámica de las sustancias en relación con el agua. La dinámica de los sistemas en la química general de nivel superior está descrita mediante notaciones que dan cuenta de los equilibrios entre entidades que forman parte de éstos. Por ejemplo, las sustancias en el agua se describen como equilibrios de solubilidad, o de ácido base. La LP que presentamos sugiere que las representaciones de estas relaciones dinámicas, basadas en razonamiento científico, adquieren sentido toda vez que se ha podido considerar la naturaleza química de alguno de los componentes en el agua.

Comentarios finales

El marco con el cual sugerimos estas orientaciones corresponde al de la Alfabetización Ambiental sobre el agua. Creemos necesario fortalecer un conocimiento integrado basado en pruebas y prácticas científicas para comprender los sistemas socio-ecológicos. Este conocimiento y prácticas requieren un examen sobre lo que les da significado, y ésa ha sido la perspectiva que hemos asumido al proponer esta progresión de aprendizaje. El conocimiento disciplinar de la química es obviamente relevante para comprender cómo las sustancias se mezclan con agua, se mueven con ella y se separan, por lo que representa una acumulación que aporta a la discusión pública sobre la calidad y uso de los recursos de agua. Somos críticos de la instrucción científica que no reconoce los recursos cognitivos y los marcos de referencia que los estudiantes han desarrollado para entender el mundo que los rodea. Afirmamos que, sin atender a los significados que producen los estudiantes que se enfrentan a las representaciones de cualquier conocimiento disciplinar en las ciencias, es plausible que el conocimiento científico pierda una posibilidad de informar la deliberación pública sobre los problemas ambientales.

Reconocimientos

Este trabajo de investigación fue parcialmente financiado por dos proyectos de la National Science Foundation de los EUA: a) Center for Curriculum Materials in Science (ESI-0227557), y b) Targeted Partnership: Culturally Relevant Ecology, Learning Progressions and Environmental

Literacy (DUE-0832173). Cualquier opinión, resultados, conclusiones o recomendaciones presentadas en este trabajo deben ser atribuidas a los autores y no necesariamente representan las posiciones de la National Science Foundation de los EUA.

Referencias

- Alonzo, A., & Gotwals, A. W. *Learning Progressions in Science*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers, 2012.
- Blake, B. Solubility Rules: Three Suggestions for Improved Understanding, *Journal of Chemical Education*, **80**(11), 1348–1350, 2003.
- Bruck, L. B., & Bruck, A. D. “Gone” into Solution: Assessing the Effect of Hands-on Activity on Students’ Comprehension of Solubility, *Journal of Chemical Education*, **87**(1), 107–112, 2010.
- Covitt, B. A., Gunckel, K. L., & Anderson, C. W. Students’ Developing Understanding of Water in Environmental Systems, *Journal of Environmental Education*, **40**(3), 37–51, 2009.
- Delgado, C., & Krajcik, J. S. *Development of a Research-Based Learning Progression for Middle School Through Undergraduate Students’ Conceptual Understanding of Size and Scale*. The University of Michigan, Ann Arbor, MI, 2009.
- Duncan, R. G., & Hmelo-Silver, C. E. Learning Progressions: Aligning Curriculum, Instruction, and Assessment, *Journal of Research in Science Teaching*, **46**(6), 606–609, 2009.
- Duncan, R. G., Rogat, A. D., & Yarden, A. A Learning Progression for Deepening Students’ Understandings of Modern Genetics across the 5th–10th Grades, *Journal of Research in Science Teaching*, **46**(6), 2009.
- Duschl, R., Maeng, S., & Sezen, A. Learning Progressions and Teaching Sequences: a review and analysis, *Studies in Science Education*, **47**(2), 123–182, 2011.
- Duschl, R., Schweingruber, H. A., & Shouse, A. W. *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K–8*. Washington, D.C.: National Academies Press, 2007.
- Earle, J. How do Funding Agencies at the Federal Level Inform the Science Education Policy Agenda? The Case of the National Science Foundation. In: DeBoer, G. E. (ed.), *The Role of Public Policy in K–12 Science Education* (pp. 117–146). Information Age Publishing, 2011.
- Garritz, A., & Talanquer, V., Las Áreas Emergentes de la Educación Química: Naturaleza de la Química y Progresiones de Aprendizaje, *Educación Química*, **23**(3), 328–330, 2012.
- Gunckel, K. L., Covitt, B. A., Salinas, I., & Anderson, C. W., Developing a Learning Progression for Water in Socio-Ecological Systems, *Journal of Research in Science Teaching*, **49**(7), 843–868, 2012.
- Gunckel, K. L., Mohan, L., Covitt, B. A., & Anderson, C. W., Addressing Challenges in Developing Learning Progressions for Environmental Science Literacy. In: Alonzo, A. & Gotwals, A. W. (eds.), *Learning Progressions in Science* (pp. 39–75). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers, 2012.
- Lichter, J. Using YouTube as a Platform for Teaching and Learning Solubility Rules, *Journal of Chemical Education*, **89**, 113–1137, 2012.
- McGinnis, J. R., & Collins, A. Special Issue: Learning Progressions, *Journal of Research in Science Teaching*, **46**(6), 605–736, 2009.
- Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W., Developing a Multi-Year Learning Progression for Carbon Cycling in Socio-Ecological Systems, *Journal of Research in Science Teaching*, **46**(6), 675–698, 2009.
- Pardo, J. Q., Una propuesta curricular para la enseñanza de la evolución de los sistemas en equilibrio químico que han sido perturbados, *Educación Química*, **13**(3), 170–187, 2002.
- Pinker, S., *The Stuff of Thought: Language as a Window into Human Nature*. New York, NY: Penguin Group, 2007.
- Plummer, J. D., & Krajcik, J. S. Building a Learning Progression for Celestial Motion, *Journal of Research in Science Teaching*, **47**(7), 768–787, 2010.
- Salinas, I., Learning Progressions in Science Education: Two Approaches for Development. In: A. Wenks & A. Alonzo (eds.), *Learning Progressions in Science Education Conference*. Iowa City, IA, 2009. Obtenida electrónicamente de <http://www.education.msu.edu/projects/leaps/proceedings/Default.html>, consultada por última vez en agosto 14, 2013.
- Smith, C., Wiser, M., Anderson, C. W., & Krajcik, J. S., Implications of Research on Children’s Learning for Standards and Assessment: A Proposed Learning Progression for Matter and the Atomic Molecular Theory, *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspective*, **14**(1 & 2), 1–98, 2006.
- Talanquer, V., Chemistry Education: Ten Facets To Shape Us, *Journal of Chemical Education*, **90**(7), 832–838, 2013.
- Talmy, L., Force Dynamics in Language and Cognition, *Cognitive Science*, **12**, 49–100, 1988.

ANEXO 1

Ejemplos originales en inglés.

1. No, because rain is the same were ever [sic] you are or were ever [sic] it is.
2. No. Because rain comes from the sky.
3. No the water will not be salty because the rain is falling down but, does not taste like salt water.
4. Yes. The polluted water could evaporate and go into a cloud and turn into rain.
5. Yes. Because when it is hot out the sun soaks up the water and later when it rains it will rain everywhere
6. Suspension = Mud/Dirt: picture shows three circle-like figures sorrounded by chains of circles with two black dots (seemingly representing water molecules). Solution = Fertilizer: picture shows three ovoids in which extremes + and – signs are read.
7. Suspension: Dirt/mud. Picture with key. White circles represent water. Black squares represent dirt. Black squares across bottom. White circles are on top. Solution: Bacteria. Picture with key. White circles represent water. Black squares represent bacteria. Black squares are in between white circles.”
8. Solution = salt: picture shows ball (O) and stick (H+) water molecules. Na+ near O and Cl– near H+
9. Solution = salt: picture shows wavy line. Underneath are Na+ and Cl– scattered around.
10. No. No because the water is salty not the rain.
11. No, No because there is no way water can go back up to the sky.
12. No. The clouds sepearate the salt from the water.
13. No. because the ground were [sic] you get your water from filters the salt.
14. Suspension = Trash: picture shows a big rectangle-like shape put diagonally on the space having the iconized word “coke” inside. The figure is labeled “Trash” with an arrow indicating it. The short wavy horizontal lines complete the figure. Solution = Mud/Dirt: picture shows four short horizontal wavy lines distirbuted on the space in addition to a cluster of dots near de center labeled as “dirt”
15. No. The rain can be hard and dangeres.
16. No. because only water can evaporat and it leaves its impuritys behind.
17. No. When water is evaporated salt is not picked up with it.
18. The water won’t be salty because during the evaporation turns water into clouds the salt is left behind.
19. No, water evaporates as pure water.
20. The rain will not be salty because as the water evaporates the salt stays where it is because it is to dense to go with the water.
21. No, salt does not evaporate with water because it has a much higher boiling point.