



## Enseñar Química en un mundo complejo

Aurora Ramos Mejía<sup>1</sup>

### Resumen

Para adecuarnos al panorama que presenta un mundo complejo y de incertidumbre, la enseñanza de la química debe contemplar su ejercicio desde la *complejidad*, centrándose en que el estudiante aprenda a resolver problemas químicos en contextos relevantes y complejos. Así, también debe utilizar la evaluación para desarrollar habilidades de pensamiento de orden superior, sobre todo, para fortalecer el tejido de una sociedad civil.

### Palabras clave

enseñanza de la química, complejidad, educación química relevante, evaluación.

### *Teaching Chemistry in a complex world*

### Abstract

To adapt us to a complex and uncertain world, teaching of chemistry must contemplate its exercise from complexity, focusing on learning so the students can solve chemical problems in relevant and complex contexts. Thus, we should also use assessment to develop higher order thinking skills, especially to strengthen the fabric of a civil society.

### Keywords

chemistry teaching, complexity, relevant chemical education, assessment.

<sup>1</sup> Soy Profesora Titular A de Tiempo Completo, PRIDE B, en la Facultad de Química de la UNAM. Soy Consejera Académica de Área Ciencias Físicas, Matemáticas y las Ingenierías (CAACFMI), suplente de la Facultad de Química, a partir del 17-05-2016. Tengo un blog de la EEQ - ABP, que pueden consultar en la dirección: <https://eneqabap.wordpress.com/>, y pueden seguirme en Twitter en la cuenta @armejmx

## De la complejidad y la enseñanza

Es ya una frase hecha decir que el mundo en el que vivimos hoy, poco o nada tiene que ver con el mundo en el que muchos de nosotros crecimos y nos formamos, en el que aprendimos a ser lo que somos. Sin embargo, las prácticas de enseñanza se mantienen prácticamente inmutables, a pesar de que los salones de clase también han cambiado, dando entrada al internet, WiFi, dispositivos móviles, computadoras y pizarrones inteligentes, en fin, a la tecnología avasallante de la Era de la Información. En la enseñanza predomina todavía la idea de "transmitir" el conocimiento, que se centra en los contenidos. Esta es una concepción del positivismo que sustentó la era moderna y se afianzó en lo que conocemos como enseñanza tradicional. Esta postura da lugar a una visión absolutista y dogmática del conocimiento científico (Aldana, 2008), que contraviene la idea actual acerca de la Naturaleza de la Ciencia (NC)<sup>1</sup> y del *pensamiento científico*<sup>2</sup>. Como lo señala Kuhn, la ciencia *no* es un proceso acumulativo y lineal, presenta rupturas y discontinuidades, durante periodos de ciencia "normal" y a través de "revoluciones científicas". La visión actual de la enseñanza valida las subjetividades, las emociones, las necesidades especiales, las ideas previas, la diversidad, y el nivel conceptual de quienes aprenden (Aldana 2008).

La enseñanza es un proceso complejo, lo que conduce a interpretaciones más allá de causa y efecto. En los sistemas complejos, las propiedades del conjunto no pueden entenderse o predecirse a partir del conocimiento completo de sus constituyentes individuales, sino que, al formar una unidad de orden superior, presentan propiedades diferentes, y a menudo inesperadas, de las de sus componentes individuales. Esto genera información nueva, y se conoce como "emergencia" (Damper, 2000; Ashkenasy et al, 2017). Cuando se observa el cambio con respecto al tiempo, los sistemas complejos tienen respuestas que generalmente son no lineales, y más que moverse a un nuevo estado de equilibrio, responden al ambiente y *pueden* ser adaptativos. Dicha adaptación puede ocurrir en múltiples escalas: cognitiva, a través del aprendizaje y el desarrollo psicológico; social, compartiendo información a través de vínculos sociales; o incluso evolutivo, a través de la variación genética y la selección natural (De Domenico et al, 2019). Las grandes ciudades son ejemplos de sistemas complejos, que presentan problemas emergentes como la gestión del agua, la contaminación, o la movilidad. Otro ejemplo, que surge de las nuevas tecnologías, son las redes sociales, con problemas emergentes como la posverdad.

La complejidad, en un proceso educacional, tiene que reconocer el espacio de interrelación y los elementos pertinentes que deben considerarse en un sistema abierto: desde el aula hacia la sociedad y desde la sociedad al aula, en un momento histórico y un contexto cultural específico. De esta manera consideraré solo cuatro de esos elementos:

1. Las características que hacen diferente a la era moderna de la posmoderna en cuanto a la enseñanza se refieren;
2. La Química, como la disciplina que es objeto de análisis para su enseñanza, y que propondré para el nivel medio superior desde la perspectiva de literacidad<sup>3</sup> química, y para el universitario, como una carrera tecnocientífica<sup>4</sup>;
3. Lo que es *relevante* enseñar de química, para los mismos públicos; y
4. La evaluación de los aprendizajes en un aula que se posiciona desde la complejidad.

Habría que analizar más elementos, y que no incluiré aquí para poder empezar con un modelo simple, que son a todas luces pertinentes para un sistema complejo, como son: las

<sup>4</sup> Según Echeverría (en Chamizo, 2009): "La tecnociencia no es sólo la búsqueda de conocimiento representacional adecuado, sino ante todo un sistema de acciones eficientes basadas en el conocimiento científico que transforman al mundo. Están desarrolladas tecnológicamente e industrialmente, y ya no sólo versan sobre la naturaleza, sino que también se orientan a la sociedad y a los seres humanos, sin limitarse a describir, explicar, predecir o comprender el mundo, sino tendiendo a transformarlo basándose en una serie de valores satisfechos, en mayor o menor grado, por la actividad tecnocientífica y por sus resultados". Así, la síntesis química es una actividad tecnocientífica que modifica al mundo introduciendo en él nuevas sustancias (Chamizo, 2009). La química es una "ciencia impura", que mezcla actividades científicas con objetivos tecnológicos. (Bensaude-Vincent & Simon, 2008, p.3). Dicha aseveración no pretende denigrar, sino afirmar que la filosofía de la ciencia establece sus estándares hegemónicos desde la perspectiva de la física, y desde un positivismo reduccionista.

<sup>1</sup>La NC es tentativa, empírica, influida por la teoría, producto de la imaginación, la creatividad y la inferencia humana, abierta a la discusión, embebida social y culturalmente, y en la cual no existe un método científico universal (Abd-El-Khalick y col., 1998).

<sup>2</sup>El pensamiento científico requiere de la interrelación del pensamiento lógico y el creativo. La esencia de la ciencia es desarrollar esquemas explicativos que den sentido a grandes volúmenes de datos y que tengan valor predictivo. Los científicos en realidad presentan teorías y modelos y otros tipos de construcciones que derivan de la imaginación humana. Todo el conocimiento científico es técnicamente provisional, es decir, en principio está abierto a un nuevo examen a la luz de nueva información". (Taber, 2017, p.28).

<sup>3</sup> Literacidad disciplinar: se refiere a la capacidad de participar en prácticas sociales, semióticas y cognitivas consistentes con aquéllas que llevan a cabo los expertos en la disciplina. Se basa en la creencia de que la lectura y la escritura son parte integral de las prácticas disciplinares y que las disciplinas no sólo difieren en el contenido, sino también en la forma en la que ese contenido es producido, comunicado y criticado (Fang & Coatoam, 2013).

creencias acerca de la enseñanza, el contexto cultural, las políticas educativas, los agentes educativos, los acontecimientos histórico-sociales y económicos, por nombrar algunos.

En esta disertación propongo que para adecuarnos al panorama que presenta un *mundo complejo*, que es el mundo incierto en el que vivimos, la enseñanza tiene que contemplar su ejercicio desde la *complejidad*. Sobre todo, para poder aproximarnos a un *sistema complejo adaptativo* en la práctica educativa.

## De modernidad y posmodernidad en la enseñanza

La diferencia entre la era moderna o Sociedad Industrial, y la posmoderna o Sociedad de la Información, reside en la pregunta fundamental que resuelve cada una de ellas, y en la idea de estabilidad del conocimiento. La revolución industrial dio origen a la era moderna, que abrazó la idea de certidumbre (conocimiento estable), y configuró las escuelas que educan en un sistema de bloques homogéneos, grupos de clase que se ubican según edad, en ciclos instruccionales que están perfectamente delimitados, como los años escolares. La enseñanza se basa en la *transmisión del conocimiento*, para que el individuo sepa, sepa hacer y sepa pensar. El resultado esperado después de la instrucción es el conocimiento y el desarrollo del *pensamiento lógico*, que implica observar, describir, comparar y razonar.

Desde esta perspectiva, la ciencia se concibe como la actividad humana que *describe y explica* los fenómenos para encontrar las leyes y generar teorías, y enfoca los problemas de la realidad segmentándolos. Estas divisiones se cristalizan en la idea de "disciplinas" y su jerarquización, haciendo ver a las matemáticas y la física como mejores, o más rigurosas, que la pedagogía o la sociología, por ejemplo. Establece oposiciones del estilo teórico-práctico, y la pregunta fundamental que se plantea es (Aguerrondo, 2009): *¿Explica el problema?*

Lo que hace imposible mantener el modelo de transmisión es el crecimiento exponencial del conocimiento. Esto fue notorio a partir de la segunda mitad del siglo XX (Parolo et al, 2015). Chamizo (2009) hace una proyección de lo que en 2015 tendría que haber leído una persona para saber de toda la química: más de 4,000 revistas por día, o si sólo se leyeran los resúmenes, más de 400 páginas al día. Y la noticia más desesperanzadora con respecto a este método de adquisición de "conocimiento" es que los hechos tienen tiempo de vida media (Arbesman, 2012).

La posmodernidad está definida por la incertidumbre, por ejemplo en la educación pública debido a la masificación de la enseñanza. Desde el pensamiento posmoderno, la ciencia debería operar sobre la realidad para *resolver problemas*. Así, desaparece el pensamiento jerárquico y de oposiciones, como teoría-práctica, y se trabaja desde la multidisciplinaria, y la interdisciplina. La pregunta fundamental que se plantea es (Aguerrondo, 2009): *¿Resuelve el problema?*

Entonces la idea de enseñanza se transforma a *un proceso centrado en el aprendizaje*: aprender a conocer; a hacer; a ser; a vivir juntos; y su resultado es la *competencia*. Toma en cuenta el contexto, es el resultado de un proceso de integración de conocimientos habilidades y actitudes, está asociada con criterios de ejecución o desempeño e implica responsabilidad (Aguerrondo, 2009). Para poder resolver problemas, además del pensamiento lógico, el individuo debe desarrollar el *pensamiento sistémico complejo*.

Stamovlasis y Tsaparlis (2001) estudiaron, con herramientas de teoría de la complejidad, cómo los estudiantes resolvían problemas de síntesis en química orgánica, y encontraron que la principal limitante para que tuvieran éxito era la memoria de trabajo.

El reto consiste en cambiar el paradigma. En la escuela tradicional, los contenidos se compartimentalizan, se enseñan por separado, y se trabaja principalmente la memoria, que es una habilidad de pensamiento de orden inferior (HPOI), pero solo para retener información que debe ser certificada en una prueba, no para que se transfiera a la memoria a largo plazo. Bajo este esquema, los estudiantes pasan los cursos, pero olvidan, no pueden resolver problemas complejos, tienen actitud pasiva y poco comprometida, y abandonan fácilmente. Para enfrentar las clases, buscan la información en la red, la extraen, generalmente sin emplear criterios de validación, y la memorizan. Youtube se ha convertido en el profesor por antonomasia. Desde la perspectiva tradicional se ha tratado de paliar el problema mediante la inclusión de las TIC (Tecnologías de Información y Conocimiento) en el aula.

Adell y colaboradores (2018) señalan que la universidad digital es un campo de batalla ideológico, y acuñaron la palabra *Ubersidad*, para referirse a ello. Se refieren a clases “empaquetadas” en vídeo para consumir just-in-time just-in-case, tutores bajo demanda, estandarización del currículum por competencias, plataformas de recomendación en función de perfiles, evaluación informatizada, etcétera. Donde el uberacadémico es un trabajador autónomo dedicado a preparar “paquetes de conocimiento”.

Para tener un proyecto mejor orientado usando las TIC, para que sean efectivamente TAC (Tecnologías para el Aprendizaje y el Conocimiento), debe reconocerse que la enseñanza digital es el producto de las complejas relaciones que se establecen entre tecnologías, personas y normas. Necesitamos hablar de pedagogía, epistemología, psicología, sociología y didáctica para poder entender que el uso educacional de la tecnología no es un proceso caótico gobernado por la suerte. La educación es un proceso profundamente emocional y humano, y no “píldoras” de conocimiento “envasado” diseñadas para un consumo rápido. Debemos reflexionar acerca de las prácticas de gobernanza que dirigen la tecnología educativa, principalmente por las razones de mercado en que están apoyadas y fomentadas, esto es, por los principios de la competencia basada en el ranking internacional. También discutir todas las implicaciones que tienen en el entorno educativo, por ejemplo: las insignias digitales, el aula invertida, las habilidades del siglo XXI, el Entorno Personal de Aprendizaje (PLE por sus siglas en inglés) o el Campus inteligente, ya que no son ideas inocuas (Castañeda y Selwyn, 2018).

Un tema complicado el de la tecnología en la educación, cuando se piensa que por tener WiFi, pantalla y proyector ya se enseña para el siglo XXI, y los docentes lo usan para dar la misma clase expositiva con tecnología de punta, prohíben el uso de dispositivo móvil porque distrae, o solo mandan contenido a través de sofisticadas plataformas. Al otro extremo del salón adoctrinador y transmisivo, está el supuestamente “constructivista”, que deja a su suerte a los alumnos para que “investiguen” en la red todo lo que necesitan, sin guía ni andamiaje, bajo una idea ingenua del concepto de “nativo digital” (Bennet, Maton & Kervin, 2008).

## De aprender Química

El triángulo de la Química, formulado por Johnstone en 1982 como una herramienta para la enseñanza, mostró la complejidad del *pensamiento químico*<sup>5</sup>. Fue retomado y reinterpretado por una gran cantidad de investigadores educativos en química, incluidos Gilbert y Treagust (2009), y Taber (2013). En él, Johnstone (1993) propone tres componentes básicos: la macroquímica de lo tangible, comestible o visible; la química submicro de lo

<sup>5</sup> Pensamiento químico. - Es el desarrollo y aplicación del conocimiento y las prácticas químicas con la meta principal de analizar, sintetizar y transformar la materia para propósitos prácticos (Sevian & Talanquer, 2014).

molecular, atómico y cinético; y la química representacional de los símbolos, ecuaciones, estequiometría y las matemáticas.

El aprendizaje de la química implica discutir los fenómenos a nivel de lo que se puede ver y manejar; usar modelos explicativos que invocan entidades conjeturadas en una escala demasiado pequeña para ser visible (como electrones, iones y moléculas); y usar formas novedosas de representación que forman parte del lenguaje especialista de la asignatura (Taber, 2017, p. 326). De esta manera, ser consciente de lo extraño y complejo que puede parecer el tema desde la perspectiva de los estudiantes le permite al profesor establecer un andamiaje sobre el aprendizaje considerando dos cuestiones: no introducir demasiadas complicaciones a la vez, y ser explícito sobre los niveles a los que se hace referencia y cualquier cambio de nivel que se haga (Taber, 2017, p. 327).

Sjöström (2013) propone una estructura tetraédrica (reconceptualizada de otro trabajo de Mahaffy) cuya base es el triángulo de Johnstone. En el modelo de Mahaffy (2006), la parte superior del tetraedro representa al elemento humano, incluidos los contextos relevantes y las prácticas productivas. Sjöström (2013) le añade diferentes niveles de complejidad que incluyen perspectivas éticas y socioculturales. Estos niveles pueden representarse como diferentes capas del tetraedro a medida que uno se mueve desde el triángulo inferior disciplinario (química pura) hacia el ápice humanista: la química aplicada, la socioquímica, y en la punta, la química crítica-reflexiva (ver Figura 1).

Por otro lado, Talanquer (2013) propone que para que un conocimiento químico adquiriera una dimensión compleja, debe enmarcarse en las diez facetas del conocimiento químico para la enseñanza. La meta es que el docente logre cambiar su visión monofacética y aproblemática de la materia que enseña, centrada en temas y actividades de libros de texto, a través de enriquecer y diversificar las formas en que piensa sobre el contenido. Estas diez facetas son: grandes ideas; preguntas esenciales; conceptos transversales; dimensiones conceptuales; tipos de conocimiento; escalas dimensionales; modos de razonamiento; problemas contextuales; consideraciones filosóficas; y visión histórica.

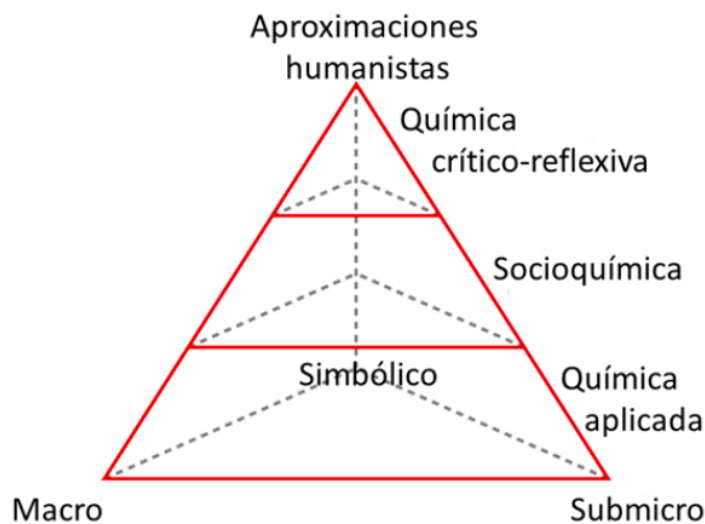


Figura 1. Tetraedro de la química-humanista de Sjöström (2013). Propone una reconceptualización de otro trabajo de Mahaffy (2006). La base es el triángulo de Johnstone, que podría pensarse como la química pura. Figura tomada y traducida de Sjöström y Talanquer (2014).

Una “Gran Idea” puede ser el conocimiento fundamental en una disciplina que nos gustaría que entendieran los estudiantes, por ejemplo: “Los átomos, las moléculas y los iones son los



componentes básicos de la materia." (Gillespie, en Talanquer, 2013). Abordar la enseñanza a partir de las "Grandes Ideas", y no de temas, puede ayudar a los docentes a establecer conexiones más significativas entre los diferentes conceptos del currículum, y si se usan como principios organizadores del mismo, pueden servir como base en progresiones de aprendizaje (Alonzo y Gotwals, en Talanquer, 2013).

Las preguntas esenciales son las que llevan a una aproximación teórica o empírica, por ejemplo, ¿cómo se forman los enlaces químicos? De esta manera, Talanquer (2013) identifica cuatro actividades principales, y preguntas esenciales asociadas, que parecen caracterizar a la química como una disciplina: análisis (¿qué es?); síntesis (¿cómo lo hago?); transformación (¿cómo lo cambio?); modelado (¿cómo lo explico?).

Por otro lado, un ejemplo de concepto transversal es el enlace químico, porque es algo fundamental de lo que se hablará en cualquier clase de química, no importa el tema o el nivel. También los son las propiedades y los patrones, ambos perfectamente plasmados en la Tabla Periódica. Hacer énfasis en ellos puede producir que los estudiantes se focalicen en lo importante de los modelos químicos que se utilizan para entender y transformar la materia, en lugar de hacerlo en las características superficiales (Talanquer, 2013).

Un ejemplo de modos de razonar (en la capa de química pura) que no considera la complejidad, y por lo tanto no puede reconocer las propiedades emergentes del sistema, es el que describe Taber (2017, p. 328): "...los átomos, los iones y las moléculas no tienen superficies definidas, sino que tienen volúmenes indeterminados (con sus "nubes" electrónicas cada vez menos densas a medida que se alejan de los núcleos). Sin embargo, cuando se agrupan enormes cantidades de moléculas o iones para constituir partículas visibles de materia, éstas tienen (a escalas observables) superficies definidas y volúmenes que pueden medirse con precisión. Sin embargo, los individuos comúnmente no logran interpretar la lógica del modelo de partículas como propiedades emergentes de un sistema complejo, y en su lugar asumen que los materiales tienen las propiedades que tienen porque están hechas de partículas con esas propiedades particulares (por lo que pueden asumir que la mantequilla está hecha de partículas suaves; el vidrio está hecho de partículas transparentes; el cobre está hecho de partículas conductoras, y así sucesivamente)".

Cuando se hace una explicación química en la escuela tradicional, generalmente se enfatiza la manipulación simbólica y de fórmulas con un enfoque en la composición y la estructura (dimensión conceptual). También se describen y analizan, mayoritariamente, en una escala dimensional del nivel molecular. El mayor problema de este método es que el currículum está casi exclusivamente diseñado para desarrollarse desde el nivel de la química pura del tetraedro de la química de Sjöström, y esto significa la menor complejidad desde el punto de vista humanístico (Sjöström y Talanquer, 2014). No hay aplicación ni contextualización, tampoco consideraciones filosóficas ni reconocimiento histórico, como por ejemplo acerca de la NC, de cómo se produjo un conocimiento específico. Por lo que no es de sorprender que los alumnos acudan a modos de razonar que tienen que ver con "reglas" o "casos" cuando tienen que resolver un problema, y mayoritariamente lo hacen confiando en la memoria.

## De la educación química relevante

Eilks y Hofstein (2015) reunieron a múltiples investigadores para desarrollar un modelo de aproximación a lo que sería una *educación química relevante*. Para poder hacer dicho

planteamiento, estos autores afirman que se deben contemplar tres tipos de visiones: la del individuo, la de la sociedad, y la de la vocación. Además, la relevancia tiene dos dimensiones: una intrínseca, que abarca los intereses y motivaciones de los estudiantes; y otra extrínseca, que cubre las expectativas éticamente justificadas del ambiente personal o de la sociedad hacia los estudiantes. Afirman, finalmente, que la educación química es relevante cuando el aprendizaje tiene consecuencias positivas para la vida del estudiante.

Desde el punto de vista del individuo, la educación química relevante debe proveer a los estudiantes con las habilidades requeridas y útiles para enfrentar su vida diaria, ahora y en el futuro, así como contribuir en el desarrollo de sus habilidades intelectuales, pero bajo una premisa: *considerando su curiosidad y sus intereses*. De esta forma se han desarrollado ideas como: aprender las Grandes Ideas (A. de Jong & Talanquer, 2015); la vida diaria (b. Childs, Hayes & O’Dwyer, 2015); enriquecer la visión de los estudiantes acerca del mundo en que viven (c. Sevian & Bulte, 2015); relevancia epistémica (D. Taber, 2015); el papel de los valores (E. Corrigan, Cooper & Keast); promover las habilidades metacognitivas (f. Dori & Avargil, 2015); promover la argumentación (G. Erduran & Pabuccu, 2015).

Desde el punto de vista de la sociedad, la educación química es relevante a partir del entendimiento de la interdependencia e interacción de la ciencia y la sociedad, para preparar a los aprendices a conducir vidas autodeterminadas y dirigidas con responsabilidad, desarrollar habilidades para la participación social, así como habilidades para contribuir al desarrollo social sostenible. De esta forma se han desarrollado ideas como: sustentabilidad (H. Sjöström, Rauch & Eilks, 2015); información filtrada y el uso de información relacionada con la química en el público (I. Belova, Stuckey, Marks & Eilks, 2015); medios de comunicación (J. Chang Rundgren & Rundgre); diferencias culturales y de género (K. Mamlok-Naaman, Abels & Markic, 2015); Ciencia-Tecnología-Sociedad en países emergentes (I. Garritz, Ferreira dos Santos & Lorenzo, 2015).

Desde el punto de vista de la vocación, para una educación química relevante se debe ofrecer orientación vocacional y dar entrenamiento académico. Esto es, para preparar a los estudiantes a los retos de ingreso a las escuelas de educación superior, y de egreso de una carrera al mundo laboral. De esta forma se han desarrollado ideas como: el cambio hacia una química verde (M. Bodner, 2015); aprendiendo de y acerca de la industria (N. Hofstein & Kesner, 2015); educación cooperativa e integrada al trabajo (O. Coll, 2015); innovación y empleabilidad (P. Nielsen & Tolstrup Holmegaard, 2015).

## De la evaluación

En la escuela tradicional moderna ha sido suficiente establecer una evaluación sumativa que certifica el conocimiento, principalmente declarativo, a través de herramientas de bajo nivel interpretativo, como son los exámenes de preguntas cerradas. Explora, por lo general, habilidades de pensamiento de orden inferior (НРОИ). Para evaluar por ejemplo el pensamiento químico, que es una НРОС, deberíamos utilizar una herramienta que no fuera la prueba, o cualquier otra que evalúe НРОИ. El modelo transmisivo casi nunca se ocupa por dar a estos instrumentos de evaluación el tratamiento necesario para considerarlos adecuados. Si no es en una prueba de alto impacto, como son las de ingreso a nivel medio superior o superior, no hay un análisis serio acerca de la validez, la confiabilidad, la transparencia o la justicia de la prueba (UNAM, 2018). No es frecuente que se hagan evaluaciones diagnósticas en el aula, más allá de los cuestionarios generales que se aplican

a las generaciones entrantes de un programa (como el que se realiza en la Facultad de Química de la UNAM), y que tengan un propósito que vaya más allá del estadístico y de rendición de cuentas, para que mejor sean usados como eje organizador en el aprendizaje del estudiante. La evaluación formativa no se utiliza, ya que forma parte de otro paradigma (el centrado en el aprendizaje), se desconoce su utilidad en un ambiente que se enfoca principalmente en cubrir un “temario”. El método y herramienta de evaluación reinante es unidimensional y heterónimo: la prueba. Aunque existen métodos y herramientas de evaluación distintas en algunos ámbitos escolares como el laboratorio, por ejemplo las observaciones del profesor o las libretas de registro, no tienen el mismo nivel jerárquico que la prueba. Tampoco están validados para servir como evaluaciones pertinentes porque, en general, solo son apreciaciones subjetivas personales acerca del desempeño de los estudiantes, sin una discusión reflexiva en un grupo colegiado que llegue a un consenso acerca de lo que valora como *buen desempeño*. Este nivel de realidad confunde la evaluación con la calificación, y se asienta en números (o algún símbolo equivalente) que solo tienen el propósito de certificar y jerarquizar. Nada que ver con establecer pautas de mejora para el aprendizaje.

La palabra desempeño, como sinónimo de logro, es un concepto cuya descripción está cargada de valor. El logro lleva una valoración positiva, a diferencia de un concepto descriptivo puro como el número 5 (Howe, 2009). De esta manera, todos los programas educativos (y los actores involucrados en ellos) que comparten un lenguaje específico de desempeño, comparten una idiosincrasia. Un sistema de educación pública riguroso es crucial para apoyar y fomentar una sociedad civil fuerte, y la evaluación es un componente clave del proceso enseñanza-aprendizaje de cualquier sistema educativo; sin embargo, también es uno de los aspectos más polémicos y politizados. Los datos de la evaluación informan la toma de decisiones, las políticas y las prácticas, así como los logros y las carreras individuales de los estudiantes (Webber & Scott, 2016). De esta manera, la evaluación unidimensional de la escuela tradicional, favorece enfoques tradicionales de estructuras de poder que informan del conocimiento acumulado y valorado de una era moderna que ya no existe. Cuando las partes interesadas se involucran de manera constructiva para el avance de la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación, demuestran perspectivas multidimensionales, lo que fortalece el tejido de una sociedad civil. Las prácticas de evaluación de calidad son complejas y difíciles, las habilidades de evaluación también los son y, en el caso de los docentes, deben enseñarse explícitamente.

La evaluación en el aula es un sistema complejo por sí solo. Implica conocer acerca de los propósitos, principios y tipos de evaluación, las características y criterios, los métodos y herramientas. La evaluación *del* aprendizaje no es lo mismo que la evaluación *para el* aprendizaje. Las dos son importantes, pero hay que identificarlas y diferenciarlas, sobre todo para saber en dónde y para que se usan. La primera tiene la connotación empírica que nos conduce al juicio acerca “de lo que sabe” el individuo. La segunda es un elemento fundamental del paradigma “aprender a aprender”.

¿Qué podemos hacer para enfrentar este desafío?

En un mundo complejo, debemos contemplar que la enseñanza también es compleja, dinámica, que necesita de múltiples disciplinas y perspectivas epistemológicas para ser efectiva. Debemos hacer más frecuente el trabajo desde la interdisciplina, sobre todo para incluir, de manera crítica, a la tecnología, la pedagogía, la didáctica, la psicología cognitiva y todas las demás ciencias que ayuden a resolver el problema educativo. Debemos formar



grupos colegiados para establecer consensos de significados, para discutir y resolver de manera *colaborativa*, estas complejas problemáticas educativas. Cambiar el paradigma de *transmisión de conocimientos* al de *centrado en el aprendiz*. Enseñar *intencionadamente* al estudiante a *resolver problemas*; habilidades de *pensamiento científico* y *pensamiento químico* (HPOS); a aprender, haciendo explícito el método de incorporación de contenidos y sus criterios de validación en una disciplina. Debemos usar la tecnología con fines educacionales, a través de la práctica reflexionada de las TIC – TAC, con el objeto de desarrollar en los aprendices competencias profesionales como la búsqueda de información y su validación. Abordar la enseñanza a partir de alguna de las propuestas de *educación química relevante*. Reflexionar y capacitarnos para la *evaluación válida, confiable, transparente, y justa*, que contemple el desarrollo de HPOS en los estudiantes. Un ejemplo de lo propuesto en este trabajo se puede consultar en Ramos (2020).

El objetivo principal es lograr que los estudiantes desarrollen una comprensión de la Naturaleza y los métodos de la Ciencia, y en particular de la Química. Que aprecien cómo la Química *no* es una disciplina acabada y prístina, sino que es una empresa humana que se desarrolla en un contexto histórico de interacciones complejas entre las ciencias, la tecnología, la sociedad y el medio ambiente, y que puede tener consecuencias positivas para su vida.

## Referencias

- Abd-El-Khalick, F., Bell, R., and Lederman, N.G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82(49): 417-436.
- Adell Segura, Castañeda Quintero L., y Esteve Mon (2018) ¿Hacia la Ubersidad? Conflictos y contradicciones de la universidad digital. RIED. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 21(2): 51-68.
- Agüerrondo, Inés (2009). Conocimiento complejo y competencias educativas. Ginebra, Suiza. UNESCO. Recuperado el 12 de mayo del 2019 de: <http://disde.minedu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/4264/Conocimiento%20complejo%20y%20competencias%20educativas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aldana de Becerra, G.M. (2008). Enseñanza de la investigación y epistemología de los docentes. *Educación y Educadores*, 11(2): 61-68.
- Arbesman, S. (2012). *The Half-life of Facts: Why Everything We Know Has an Expiration Date*. New York: Penguin Group
- Ashkenasy G., Hermans T.M, Otto S. & Taylor F. (2017). Systems chemistry. *Chem. Soc. Rev.*, 46, 2543-2554.
- Bennet S., Maton K., & Kervin L. (2008). The ‘digital natives’ debate: A critical review of the evidence. *British Journal of Educational Technology*. 39 (5):775–786.
- Bensaude-Vincent, B., & Simon, J. (2008). *Chemistry: The Impure Science*; Imperial College Press: London. Recuperado el 8 de junio del 2019 de: [https://www.worldscientific.com/doi/suppl/10.1142/p569/suppl\\_file/p569\\_chap01.pdf](https://www.worldscientific.com/doi/suppl/10.1142/p569/suppl_file/p569_chap01.pdf)
- Castañeda L., & Selwyn, (2018). More than tools? Making sense of the ongoing digitizations of higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 15:22.

- Chamizo J.A. (2009). Filosofía de la química: I. Sobre el método y los modelos. *Educación Química*. De aniversario: 6-11.
- Damper R. I. (2000). Editorial for the Special Issue on 'Emergent Properties of Complex Systems': Emergence and levels of abstraction. *International Journal of Systems Science*. 31(7): 811-818
- De Domenico M., Brockmann D., Camargo C., Gershenson C., Goldsmith D., Jeschonnek S., Kay L., Nichele S., Nicolás J.R., Schmickl T., Stella M., Brandoff J., Martínez Salinas A.J., Sayama H. Complexity Explained (2019). DOI 10.17605/OSF.IO/TQGNW Recuperado el 8 de junio del 2019 de: <https://complexityexplained.github.io/>
- Eilks I. and Hofstein A. Eds. (2015). a. de Jong & Talanquer. b. Childs, Hayes & O'Dwyer. c. Sevian & Bulte. d. Taber. e. Corrigan, Cooper & Keast. f. Dori & Avargil. g. Erduran & Pabuccu. h. Sjöström, Rauch & Eilks. i. Belova, Stuckey, Marks & Eilks. j. Chang Rundgren & Rundgre. k. Mamlok-Naaman, Abels & Markic. l. Garritz, Ferreira dos Santos & Lorenzo. n. Hofstein & Kesner. o. Coll. p. Nielsen & Tolstrup Holmegaard in Relevant Chemistry Education. From Theory to Practice. Sense Publishers: The Netherlands.
- Fang, Z., & Coatoam, S. (2013) Disciplinary Literacy: What You Want to Know about It. *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, 56 (8): 627-632.
- Gilbert, J.; Treagust, D., Eds. (2009). Multiple representations in chemical education; Springer: Dordrecht, The Netherlands.
- Howe K.R. (2009). Positivist Dogmas, Rethoric, and the Education Science Question. *Educational Researcher*. 38(6): 428-440.
- Johnstone, A. H. (1993). The Development of Chemistry Teaching: A Changing Response to Changing Demand. *Journal of Chemical Education*, 70: 701-705.
- Mahaffy P. (2006). Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 83 (1): 49-55.
- Parolo, P.D.B., Pan, R.K., Ghosh, R., Huberman, B.A., Kaski, K., & Fortunato, S. (2015). Attention decay in science. *Journal of Informetrics*. 9(4): 734-745.
- Ramos, A. (2020) ¿Cómo se puede usar el celular como pretexto para enseñar la Tabla Periódica? *Educación Química*. 31(1): 49-61.
- Sevian & Talanquer, (2014) Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15, 10.
- Sjöström, J & Talanquer V. (2014). Humanizing Chemistry Education: From Simple Contextualization to Multifaceted Problematization. *Journal of Chemical Education*. 91: 1125-113.
- Sjöström, J. (2013). Towards *Bildung*-Oriented Chemistry Education. *J. Sci & Educ*. 22: 1873
- Stamovlasis, D. & Tsapalis, G. (2001). Application of Complexity Theory to an Information Processing Model in Science Education. *Nonlinear Dynamics Psychol Life Sci*. 5: 267.
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the Chemistry Triplet: Drawing upon the Nature of Chemical Knowledge and the Psychology of Learning to Inform Chemistry Education. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14, 156- 168.
- Taber, K.S (2017) Teaching and Learning Chemistry, in Taber, K.S. & Akpan B., Eds. Science Education. An International Course Companion. Sense Publishers.

Talanquer, V. (2013). Chemistry Education: Ten Facets To Shape Us. *Journal of Chemical Education*. 90, 832-838.

UNAM (2018). Evaluación educativa del y para el aprendizaje en educación superior. MOOC: Coursera.

Webber & Scott (2016). Chap 1: Student Assessment in a Civil Society. In Scott Sh., Scott D., & Webber Ch. Editors. Implications for Leadership. *Assessment in Education*. Springer.

Recepción: 16/08/2019. Aceptación: 30/09/2019..