

NIVEL DE ESTRUCTURACIÓN DE CONCEPTOS DE QUÍMICA EN ESTUDIANTES QUE INGRESAN EN EL PRIMER SEMESTRE DE INGENIERÍA DEL PETRÓLEO EN LA UPSE

LEVEL OF STRUCTURATION OF CHEMICAL CONCEPTS IN STUDENTS IN THE FIRST SEMESTER OF PETROLEUM ENGINEERING IN UPSE

Manuel Martínez S.^{1,2}

mmartinez@upse.edu.ec

Marisol Mejía Q.²

marisol.mejia@gmail.com

Erica Lorenzo G.¹

elorenzo@upse.edu.ec

¹ Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.

² Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

RESUMEN

*En la UPSE ingresa cada año un contingente de aproximadamente 60-65 estudiantes que aspira graduarse como Ingenieros en Petróleo. El análisis de asociaciones de términos químicos en estos alumnos al inicio de la carrera provee información acerca del grado de estructuración de los conocimientos previos que manejan en el área de la Química. Fue aplicado un instrumento de evaluación de asociaciones a un conjunto de 25 estudiantes del primer semestre de la Carrera de Ingeniería del Petróleo, justo en su primer día de clases, con el fin de establecer el nivel de estructuración del conocimiento previo en Química que traen del Instituto. Se detectan muy pocas asociaciones estadísticamente significativas, siendo la más relevante la identificación de elementos químicos; se evidencian asociaciones más débiles vinculadas alrededor de los conceptos del átomo y de disoluciones. La única agrupación o clúster de términos asociados la conforman los términos **Potasio-Elemento-Metálico-Polar-Enlace**. La ausencia de bi-direccionalidad en la evocación de los términos sugiere que los conocimientos están aun pobremente estructurados. La ausencia de asociaciones significativas con la acepción de mol deja patente las grandes dificultades que luego muestran los estudiantes universitarios para los cálculos estequiométricos.*

Palabras clave: UPSE, asociación de términos, conocimiento, Química, estudiante.

ABSTRACT

Approximately 60-65 students enters each year in the UPSE, aspiring to graduate as Petroleum Engineers. The analysis of associations of chemical terms in these students at the beginning of the course provides information about the degree of structuring of previous knowledge that they handle in the area of Chemistry. An instrument for evaluating word associations was applied to a group of 25 students from the first semester of the Petroleum Engineering Career, just on their first day in the classroom, in order to establish the level of structuring of previous knowledge in Chemistry that they bring from the High School. Very few statistically significant associations were detected, being the most relevant the identification of chemical elements; there are weaker associations linked around the concepts of the atom and dissolutions. The only cluster of associated terms is Potassium-Element-Metallic-Polar-Bond. The absence of bi-directionality in evoking terms suggests that knowledge is still poorly structured. The absence of significant associations with the meaning of mol makes clear the great difficulties that university student's later show for stoichiometric calculations.

Keywords: UPSE, associations of terms, knowledge, Chemistry, student

Recibido: 16 de febrero de 2017

Aceptado: 5 de julio de 2017

Publicado: 31/07/2017

Introducción

En cada período académico ingresa un importante contingente de estudiantes a las distintas carreras que la UPSE ofrece a la comunidad y al país. Para la Carrera de Ingeniería del Petróleo, se conforman cada semestre dos cursos paralelos, de aproximadamente 30 estudiantes cada uno. Así, en cada oportunidad ingresan en promedio 60 nuevos estudiantes.

Las características de esta Carrera requieren del estudiante y futuro profesional un sólido conocimiento de Química, una comprensión global y precisa de las características únicas que presentan los hidrocarburos, tanto en lo relativo a su composición, comportamiento de los fluidos en el yacimiento, los procesos de recuperación secundaria y su efecto en la calidad del crudo; y otros fenómenos posteriores como la biodegradación, lavado por aguas, desasfaltación y formación de “sludges”, así como el refino.

Es deseable entonces que la Química y materias relacionadas formen parte del plan de estudios de la Carrera de Ingeniería de Petróleo de la UPSE. Por otra parte, el conocimiento previo que el estudiante trae del sistema educativo del Instituto es primordial para poder elevar el nivel de instrucción en la Química Universitaria. Lamentablemente, una fracción importante de los jóvenes que ingresan en la carrera de Ingeniería de Petróleo manifiesta no haber contado con docente de Química en el Instituto. Este hecho, aunado al bajísimo nivel que traen los jóvenes en esta área del Conocimiento, representa una dificultad que debe ser subsanada al menos parcialmente, por los docentes que tienen a su cargo esta importante Cátedra.

Aquí es importante rescatar el modelo de Norman¹ quien establece tres formas de aprendizaje en el tiempo: **acumulación** mediante la cual se incorpora la nueva información; la **reestructuración**, mediante la cual se traduce la nueva información a los conocimientos existentes, y **entonación** o **refinamiento** que permite “pulir” el conocimiento, para llevarla a un mejor uso o un rendimiento más eficiente.

En el interés por disponer de información cuantitativa acerca del nivel de estructuración del conocimiento en el área de Química que traen los estudiantes que ingresan en la UPSE, se realizó un sencillo ensayo de asociación de términos relacionados con la Química General, a través de variantes a la Técnica del Árbol

Ordenado. La información aportada por este tipo de ensayos puede servir de punto de partida para explorar qué conocimientos traen bien estructurados los jóvenes, y qué ideas se encuentran débiles o simplemente no existen².

Este tipo de técnicas ya ha probado su utilidad en una variedad de ejemplos, como en el hallazgo de las diferencias actitudinales en los profesores experimentados, quienes en la evocación de un tema de su pericia son menos descriptivos y mucho más explicativos que los principiantes, mientras que éstos, a su vez, son menos descriptivos y más explicativos que los de los estudiantes³. También ha sido empleado en el análisis de estructuración de conceptos en libros de texto⁴.

Materiales y métodos

El primer día de actividades del semestre, en su primera clase introductoria del curso de Química 1, junto a la presentación del docente y previo a la socialización formal del sílabo, se le entrega a cada estudiante un instrumento que debe completar. El instrumento consta de una lista de 20 términos vinculados a la Química, colocados en una columna del lado izquierdo de la hoja. El estudiante dispone de 5 minutos para colocar, en la columna del lado derecho, las mismas palabras de la lista anterior, pero ordenadas según su relación entre sí; por ejemplo, si inicia la lista con la palabra átomo, la segunda podría ser electrón, o isótopo....términos que se relacionen. Esta prueba la deben repetir dos veces más; para ello, el instrumento coloca unos distractores entre cada prueba, a fin de impedir que el estudiante repita las asociaciones por memoria.

Así, al completar el instrumento, cada estudiante aporta no sólo su visión acerca de cómo asocia términos relacionados con la Química, sino que al hacerlo por triplicado también deja patente por escrito qué tan bien fijadas están esas asociaciones: en un joven que posea conocimientos razonablemente bien cimentados, su estructura del conocimiento sobre la Química le permite establecer asociaciones lógicas y repetibles en las tres oportunidades (por ejemplo, la misma asociación átomo-isotopo la efectúa en las tres ocasiones) . Por el contrario, en ausencia del conocimiento o cuando se halla pobremente estructurado, aparecen tendencias aleatorias en las asociaciones (átomo-isótopo, átomo-presión, átomo-solubilidad).

Una vez completados los instrumentos, se dispone, para el caso de estudio, con 25 estudiantes, de 75 pruebas. A partir de ellas se

puede conocer no sólo cómo se encuentra estructurado el conocimiento en Química del estudiante que ingresa a la UPSE, sino también qué tan sólidamente fijado se encuentran los constructos mentales que poseen al ingreso a la Universidad. A partir de este momento, el problema es hallar entre 75 pruebas, con un total de 380 combinaciones en parejas de palabras por prueba (asociaciones) para un análisis global de 28.500 posibles asociaciones en parejas, un patrón estructurado. Inevitablemente, hay que recurrir a la estadística no paramétrica.

La Técnica del Árbol Ordenado (“*Ordered Tree Technique*”, OTT) es un procedimiento estadístico de agrupamiento o *clustering* jerárquico basada en similitud de las

asociaciones⁵. Otra forma de evaluar las asociaciones es a través de la matriz de adyacencias que no es más que un modo sencillo de representar las asociaciones, considerando las adyacencias como asociaciones binarias. Están relacionadas con la matriz de distancias simétricas, aunque hace hincapié en las asociaciones más que en las distancias, por lo que son más apropiadas para estudiar el caso que nos ocupa.

Resultados

La figura 1 muestra la matriz de adyacencias obtenida a partir de la muestra de estudio (25 casos).

	Electrón	Atomo	Iónico	Redox	Presión	Pureza	Concentración	Mol	Solubilidad	Estequiometría	Silicio	Avogadro	Isótopo	Polar	Metálico	Potasio	Enlace	Elemento	Dalton	Radioactividad
Electrón	18	11	3	1	0	2	3	0	1	0	3	5	0	0	0	14	1	2	1	
Atomo	27	5	1	0	0	1	4	1	4	0	8	2	0	0	0	1	2	14	3	
Iónico	3	6	7	1	2	2	2	0	4	1	2	5	13	0	0	7	5	2	2	
Redox	3	4	0	5	3	4	4	4	4	0	3	2	3	1	1	3	5	6	4	
Presión	1	0	0	4	18	10	4	6	4	0	2	3	4	0	0	3	0	3	3	
Pureza	0	0	2	3	22	13	2	11	2	2	2	2	1	1	0	3	1	3	0	
Concentración	0	0	0	0	12	17	5	22	3	1	5	1	1	1	0	0	2	0	1	
Mol	2	16	1	3	3	4	5	7	3	1	5	1	0	0	0	0	1	0	1	
Solubilidad	0	0	1	3	5	15	12	3	4	5	5	2	0	0	1	2	6	2	2	
Estequiometría	1	3	0	14	5	1	9	6	5	0	7	3	1	2	0	4	4	1	7	
Silicio	1	2	0	0	0	0	1	0	3	2	2	1	4	3	39	3	0	1	2	
Avogadro	3	4	0	3	2	0	1	4	4	3	3	12	4	4	0	2	0	8	3	
Isótopo	2	0	2	2	2	3	1	1	1	5	1	6	9	3	1	2	5	2	6	
Polar	1	0	9	7	3	1	3	0	0	2	1	4	4	7	2	8	5	3	3	
Metálico	1	1	6	2	1	0	1	0	4	1	6	0	3	5	11	5	6	2	10	
Potasio	0	1	0	3	0	3	0	1	0	3	17	0	3	1	11	4	18	1	5	
Enlace	2	3	0	1	1	1	3	1	0	1	0	0	3	9	7	0	4	3	5	
Elemento	3	4	0	3	0	0	2	0	1	0	13	0	3	0	19	9	3	1	1	
Dalton	17	5	2	2	0	1	0	2	0	1	0	6	5	3	0	0	0	2	9	
Radioactividad	2	2	3	4	3	1	1	1	3	1	0	4	8	7	4	2	2	1	11	

Figura 1.- Matriz de adyacencias de los términos empleados en las pruebas. Se resaltan en color azul las asociaciones cuya frecuencia se halla entre el umbral (8) y el doble del valor umbral (8-16); en color verde, asociaciones que se repiten entre 2 y 3 veces el valor umbral (16-24); en color rojo tenue, asociaciones entre 24 y 32 recurrencias; en rojo escarlata, asociación con más de 4 veces el valor umbral (>32).

¿Cómo leer la matriz anterior? Para 75 pruebas evaluadas (25 estudiantes x 3 pruebas por joven), en 18 de ellas aparece la asociación Electrón-Átomo; en 11 aparece la asociación Electrón-Iónico; la asociación Electrón-Redox sólo fue contabilizada 3 veces.

Para poder establecer cuantas de estas asociaciones son significativas, es necesario calcular la distribución “promedio” de asociaciones. Para el número de casos considerado, el valor “promedio” de asociaciones aleatorias para una palabra de la

serie se calcula conociendo la probabilidad de una asociación (1/19, Ec.(1)) y multiplicándola por el número de casos totales considerado (75, Ec.(2)):

$$p_{ai} = \frac{a_{ai}}{\sum_j a_{aj}} = \frac{1}{19} = 0,0526; \quad \text{Ecuación 1}$$

$$0,0526 \times 25 = 3,94 \approx 4 \quad \text{Ecuación 2}$$

Cuatro o menos es el valor correspondiente a asociaciones espurias, donde las conexiones no tienen un patrón lógico, y es propio de la ausencia de una estructuración del conocimiento respecto a los conceptos involucrados en los términos.

Debido a la aleatoriedad intrínseca en el ensayo planteado, se escoge el valor de 8 (el

doble del valor umbral), como número a partir del cual una asociación podría ser tomada como significativa.

Al evocar la palabra **Concentración** (ver en la figura 1), apareció la asociación **Concentración-Solubilidad** un total de 22 veces. Ahora bien, para propósito de este análisis es indistinto si la asociación es biyectiva (es decir, que la evocación de la palabra **Solubilidad** ocasione la asociación **Solubilidad-Concentración** un total de 12 veces). Aunque este análisis es igualmente interesante y será estudiado *a posteriori*, la simplificación de la matriz mostrada en la figura 1 permite obtener una matriz más sencilla de asociaciones, que son mostradas en la figura 2, y que corresponde a la suma de las asociaciones A-B y B-A para cada caso:

	Electrón	Atomo	Iónico	Redox	Presión	Pureza	Concentración	Mol	Solubilidad	Estequiometría	Silicio	Avogadro	Isótopo	Polar	Metálico	Potasio	Enlace	Elemento	Dalton	Radioactividad
Electrón	35	14	6	2	0	2	5	0	2	1	6	7	1	1	0	16	4	36	3	
Atomo		11	5	0	0	1	20	1	7	2	12	2	0	1	1	4	6	19	5	
Iónico			7	1	4	2	3	1	4	1	2	7	22	6	0	7	5	4	5	
Redox				9	6	4	7	7	18	0	6	4	10	3	4	4	8	8	8	
Presión					30	22	7	11	9	0	4	5	7	1	0	4	0	3	6	
Pureza						30	6	26	3	2	2	5	2	1	3	4	1	4	1	
Concentración							10	34	12	2	6	2	4	2	0	3	4	0	2	
Mol								10	9	1	9	2	0	0	1	1	1	2	2	
Solubilidad									9	8	9	3	0	4	1	2	7	2	5	
Estequiometría										2	10	8	3	3	3	5	4	2	8	
Silicio											5	2	5	9	56	3	13	1	2	
Avogadro												18	8	4	0	2	0	14	7	
Isótopo													13	6	4	5	8	7	14	
Polar														12	3	17	5	6	10	
Metálico															22	12	25	2	14	
Potasio																4	27	1	7	
Enlace																	7	3	7	
Elemento																		3	2	
Dalton																			20	
Radioactividad																				

Figura 2.- Matriz de asociaciones de los términos empleados en las pruebas. En este caso, se han sumado las asociaciones A-B con las B-A. En color rojo tenue, asociaciones con 16 a 32 recurrencias; en tono más pronunciado, asociaciones con más de 32 recurrencias.

El análisis de la figura 2 muestra que algunas pocas asociaciones sólidas están presentes en los estudiantes. A causa de la suma de asociaciones (A-B + B-A), ahora el valor

umbral es 16 (el doble respecto a la figura 1). Sólo se detectan 18 asociaciones que superen el valor umbral, y de ellas, tan sólo cuatro sobrepasan el doble del valor umbral, lo que

indica que se trata de asociaciones estadísticamente significativas. Destaca fuertemente la asociación **Silicio – Potasio**, que es 3,5 veces mayor que el valor umbral. En segundo lugar aparecen, muy atrás, las asociaciones **Electrón-Dalton**, **Electrón-Átomo** y **Concentración-Solubilidad**, con 36, 35 y 34 replicaciones respectivamente, apenas algo más de dos veces el valor umbral. Otras asociaciones con mucho menor peso estadístico son:

Presión-Pureza (30); Pureza-Concentración (30); Potasio-Elemento (27); Pureza-Solubilidad (26) y Metálico-Elemento (25).

Interpretación de las asociaciones

Los resultados mostrados por las figuras 1 y 2 dejan patentes las siguientes interpretaciones iniciales:

a) Los estudiantes que están ingresando al Sistema de Educación Superior para estudiar Ingeniería del Petróleo en la UPSE traen deficiencias notables en la estructuración del conocimiento en Química.

b) La única asociación relevante detectada está relacionada con la identificación de los elementos químicos (asociación Silicio-Potasio), y en forma parcial, una estructuración fragmentada que involucra los términos Concentración-Pureza-Solubilidad.

c) Llama poderosamente la atención la ausencia de una estructuración, así sea parcial o fragmentada, acerca del concepto de mol, tan necesario y vital en Química. Este es un conocimiento que se imparte en el Instituto y su pobre o nula evocación mediante asociaciones estadísticamente significativas revela la debilidad que poseen los estudiantes que ingresan en el régimen universitario acerca de este concepto, uno de los más importantes en la Química General.

La biyectividad (o bidireccionalidad) en las asociaciones también es un punto de análisis. Escogiendo solamente las asociaciones que al menos triplican el valor umbral, encontramos que la biyectividad es baja a moderada, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1: Recurrencias mostradas en cada asociación significativa, tanto en un sentido como en el contrario, junto al cálculo de las diferencias y su porcentaje. Entre menor es el porcentaje, mayor la biyectividad.

Asociación	Recurrencia	Módulo de la Diferencia ($l_{ab} - b_{al}$)
Silicio – Potasio	39	22 (56%)
Potasio – Silicio	17	
Electrón-Dalton	2	15 (88%)
Dalton-Electrón	17	
Electrón-Átomo	18	9 (33%)
Átomo- Electrón	27	
Concentración-Solubilidad	22	10 (45%)
Solubilidad -Concentración	12	
Presión-Pureza	18	8 (44%)
Pureza-Presión	10	
Pureza-Concentración	13	4 (24%)
Concentración-Pureza	17	
Potasio-Elemento	18	9 (50%)
Elemento-Potasio	9	
Pureza-Solubilidad	11	4 (27%)
Solubilidad-Pureza	15	
Metálico-Elemento	6	13 (68%)
Elemento-Metálico	19	

Aquí la biyectividad de la asociación es medida a través de la diferencia entre las recurrencias de las asociaciones en un sentido (por ejemplo **Electrón-Átomo**) menos las asociaciones en el sentido inverso (**Átomo-Electrón**). Entre mayor sea el grado de estructuración y fijación del conocimiento, la asociación estará mejor establecida, sin importar el planteamiento en un sentido u otro; por tanto, el módulo de las diferencias $lab-bal$ tiende a 0. Por el contrario, valores altos de esta diferencia revelan que el estudiante en promedio asocia las palabras sólo en un sentido, y no en el contrario.

Los valores de las diferencias en la tabla 1 muestran que aún en las asociaciones que

sugieren un cierto nivel de fijación en el conocimiento de los jóvenes, la incorporación definitiva del conocimiento aún dista de encontrarse totalmente establecida.

Agrupación (*clustering*) de asociaciones

Hasta ahora el estudio se ha llevado a cabo por asociaciones de dos palabras. Sin embargo, un análisis más detallado de la figura 2 permite vislumbrar asociaciones de tres o más conceptos. La adyacencia entre términos que se asocian en valores de recurrencia superiores al valor umbral permite generar un “mapa” de *agrupamientos* (figura 3):

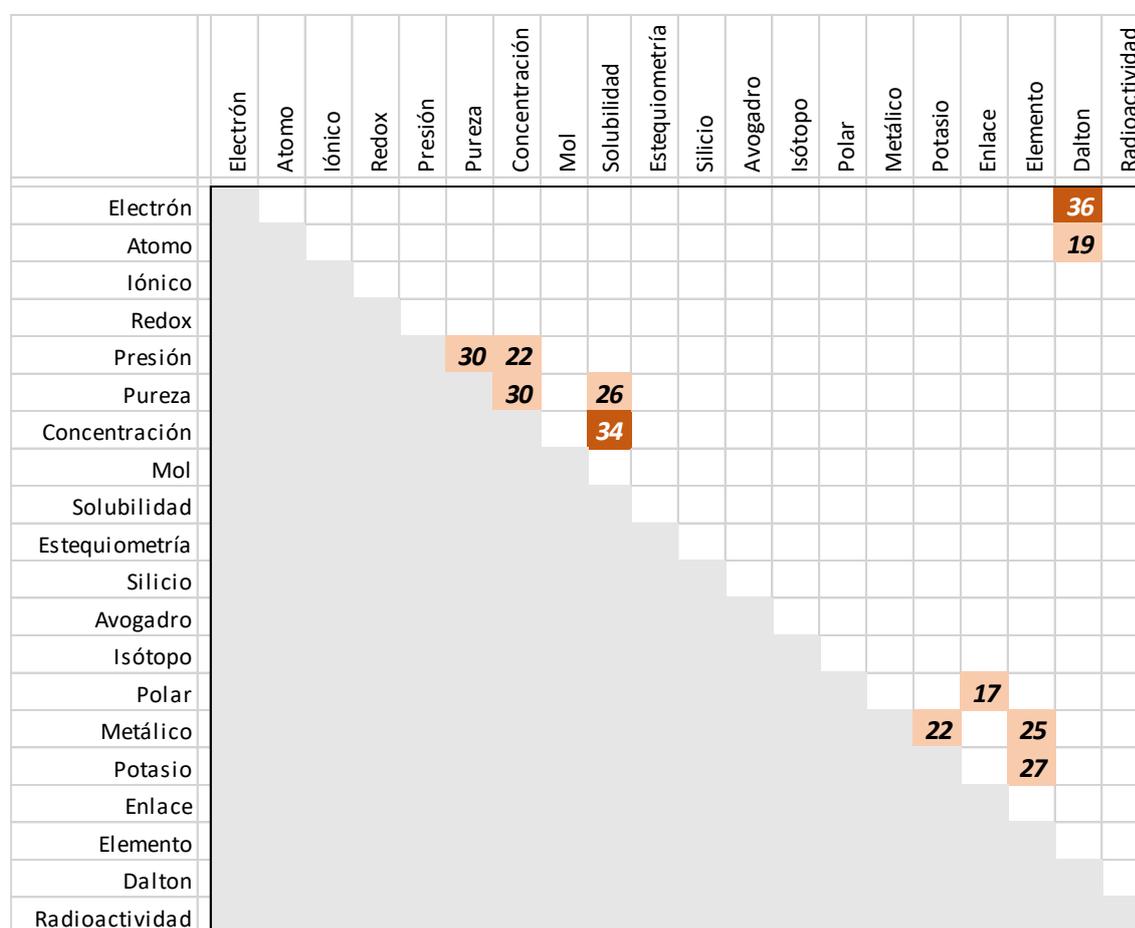


Figura 3.- Agrupamientos (“clúster”) de asociaciones estadísticamente significativas.

Aparece un *clúster* principal de asociaciones que cubre cinco palabras: **Potasio-Elemento-Metálico-Polar-Enlace**. Un segundo *clúster* está constituido por los términos **Presión-Pureza-Concentración**. Las restantes asociaciones significativas comprenden los términos **Concentración-Pureza-Solubilidad** y por último **Átomo-Electrón-Dalton**.

En estos agrupamientos, algunos términos permiten evocar los restantes, pero no al revés. Así, los términos **Pureza** y **Concentración** evocan al concepto de **Solubilidad**, pero ésta última no evoca a las primeras. Igual situación acontece con las palabras **Átomo** y **Electrón**, que relacionan fácilmente con **Dalton**; sin embargo, **Dalton** no evoca a ningún otro

término en forma estadísticamente significativa. Por tanto, estas agrupaciones no son simétricas, su biyectividad es baja. La ausencia de bidireccionalidad en la evocación de los términos es un indicador claro de debilidad en la estructuración del conocimiento alrededor de los conceptos involucrados.

Ventajas y limitaciones del método

La técnica empleada ha mostrado su utilidad reiteradamente, sobre todo en el establecimiento de las diferencias entre experto y novato⁵. Entre las ventajas indiscutibles del procedimiento empleado, destacan la facilidad relativa con la que puede obtenerse información a partir de instrumentos relativamente simples. A partir de las asociaciones obtenidas por este método, pueden incluso orientarse los esfuerzos en las estrategias pedagógicas y de refuerzo de conceptos iniciales en los cursos pre-universitarios.

Sin embargo, la técnica no está exenta de limitaciones. El número de palabras a partir de las cuales elaborar el instrumento no puede ser excesivamente largo, ni extremadamente reducido. Un gran número de conceptos permite mayor información y son estadísticamente más sólidas las asociaciones que se establezcan, pero en contrapartida, la aplicación del test se vuelve inevitablemente muy largo en tiempo, con el consiguiente hastío del estudiante, quien normalmente termina completando las pruebas del test sin establecer las asociaciones en forma genuina.

Conclusiones

Aunque son muchas las posibles interpretaciones que pueden derivar de un análisis como el presentado, es conveniente recordar que se trata de una pequeña muestra y por tanto estos resultados son preliminares, aunque estadísticamente válidos. Sólo haremos hincapié en las conclusiones determinantes obtenidas:

- Para un conjunto de 20 términos generales asociados con la Química General, la estructuración del conocimiento inicial que traen los jóvenes que ingresan en la Carrera de Petróleo para el área de la Química es definitivamente muy pobre.
- Tomando en cuenta la secuencia de términos empleados en el instrumento de aplicación de la prueba, la asociación significativa más relevante hallada está relacionada con la identificación de los

elementos (**Silicio-Potasio**), y en menor grado con la estructura atómica (**Electrón-Dalton**, **Electrón-Átomo**) y disoluciones (**Concentración-Solubilidad**).

- La inexistencia de cualquier asociación estadísticamente significativa con el término **mol** revela que los estudiantes egresan del Instituto sin tener un constructo mental mínimo sobre este concepto fundamental de la Química, lo que explica la dificultad que suelen experimentar los estudiantes en la comprensión y uso del mol en los cálculos estequiométricos.
- La baja biyectividad de las asociaciones significativas indica que los constructos mentales establecidos por los estudiantes distan mucho aún de encontrarse totalmente establecidos.
- Si en vez de enfocarnos en las asociaciones por pares de términos, se analiza la posibilidad de asociaciones encadenadas o **clúster** de términos enlazados cognitivamente, se detecta una agrupación principal de cinco términos, y unen elementos con enlaces y tipos de enlace: **Potasio-Elemento-Metálico-Polar-Enlace**. Se identifican otras agrupaciones menores pero con bajo peso estadístico, y al igual que en las asociaciones por pares de términos, la biyectividad en la evocación de la agrupación es baja.

Recomendaciones

Los resultados mostrados corresponden a una muestra reducida que forma parte de un proyecto de mayor envergadura, en donde no sólo se dispondrá de mayor número de muestras, sino que permitirá la comparación de estos resultados con los obtenidos al término del curso formal de Química 1, al igual que con estudiantes en los últimos grados de la carrera. Puede extenderse a otras carreras e incluso a los profesores que impartimos la cátedra. Y por último, puede ser ensayado para otras áreas del conocimiento, distintas a la Química.

Al disponer de más datos y una mejor estructuración, puede hacerse uso de otras herramientas estadísticas para detectar las asociaciones, como la Técnica de Árbol Ordenado.

Referencias

- Orantes A. De la Impericia a la Excelencia: Análisis de las diferencias Experto Novato.

- Revista Investigación y Postgrado. 1988;3(4):1–6.
2. Naveh-Benjamin M, Mckeachie WJ, Lin Y, Tucker DG. Inferring Student's Cognitive Structures and Their Development Using the " Ordered Tree Technique" . Journal of Educational Psychology. 1986;78(2):130–40.
 3. Amarillas M, Jacobo H. Comunicación en la interacción didáctica: autopoiesis y aprendizaje. In: Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping. Pamplona, España; 2004.
 4. Ceballos J, Murcia J, Camacho J. Un análisis de la estructura de las ideas, en textos sobre evolución biológica, adaptando la técnica de árboles ordenados. En: XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. La Laguna, Tenerife, España: Centro Superior de Educación, Universidad de La Laguna; 2002. p. 10 p.
 5. Hirtle SC. Ordered Trees : A Structure for the Mental Representation of Information. In: Susanne M. Humphrey and Barbara H. Kwasnik, editor. Proceedings of the 1st ASIS SIG/CR Classification Research Workshop. 1990. p. 79–86.