

UNA APLICACIÓN DEL MODELO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA EN LA FÍSICOQUÍMICA EXPERIMENTAL

AN APPLICATION OF THE LOGISTIC REGRESSION MODEL IN THE EXPERIMENTAL PHYSICAL CHEMISTRY

**Lilia Fernández-Sánchez^{1*}, Elpidio Corral-López², Daniel Estrada-Guerrero²,
Edgar González-Martínez², Leonardo Hernández-Martínez², María de la Luz Soto-Téllez²**

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas,
Departamento de Ciencias Básicas, (1) Área de Química Aplicada, (2) Área de Química,
Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, México, D.F.
*autor de contacto (email: lfs@correo.azc.uam.mx)

Recibido: 30/10/2014 - Evaluado: 23/11/2014 - Aceptado: 03/02/2015

RESUMEN

El cálculo de propiedades intensivas volúmenes molares de mezclas etanol-agua a través de las densidades experimentales y el método de la tangente en el Laboratorio de Físicoquímica presenta el problema de realizar manualmente la curva de volumen molar *versus* fracción mol y el trazo de la recta tangente. La ventaja de usar un modelo estadístico la Regresión Logística en una calculadora-graficadora Texas VOYAGE permitió trazar la curva y las tangentes in situ y evaluar el trabajo de los alumnos durante la sesión experimental. El error entre los volúmenes molares calculados con los datos de la literatura y los obtenidos con el método estadístico es mínimo, lo que valida el modelo. Se considera ventajoso el uso de la calculadora con esta aplicación como herramienta de apoyo a la docencia al reducir el tiempo de evaluación de 3 semanas, al establecido por la parte experimental que es de 3 horas.

ABSTRACT

The calculation of intensive properties molar volumes of ethanol-water mixtures by experimental densities and tangent method in the Physical Chemistry Laboratory presents the problem of making manually the molar volume curve versus mole fraction and the trace of the tangent line trace. The advantage of using a statistical model the Logistic Regression on a Texas VOYAGE graphing calculator allowed trace the curve and the tangents in situ, and also evaluate the students work during the experimental session. The error percentage between the molar volumes calculated using literature data and those obtained with statistical method is minimal, which validates the model. It is advantageous use the calculator with this application as a teaching support tool, reducing the evaluation time of 3 weeks to 3 hours.

Palabras clave: propiedades intensivas, volúmenes molares, modelo estadístico, calculadora-graficadora
Keywords: Intensive properties, molar volumes, statistical model, graphing-calculator

INTRODUCCIÓN

La regresión logística es un método estadístico utilizado principalmente en el área de ciencias de la salud (Magadi, 2011; Domínguez & Aldana, 2001; Silva, 2007), sociales (Navarro & González, 2010; Salas, 1996) y educación (Prieto, 2009; Reyes *et al.*, 2007). Es un tipo de análisis de regresión utilizado para predecir el resultado de una variable categórica (una variable que puede adoptar un número limitado de categorías) en función de las variables independientes o productoras (Texas Instrument, 2014). La función de enlace entre la variable dependiente "y" y la independiente "x" es generada por una función logística definida por la ecuación 1.

$$y = \frac{c}{1 + ae^{-bx}} + d \quad (1)$$

Dentro del estudio de las propiedades que caracterizan a los sistemas termodinámicos se aborda el concepto de propiedades intensivas y extensivas y al hacerlo, se enfatiza la no aditividad de las primeras. Particularmente, la densidad de las sustancias es una de las propiedades medibles e intensivas de mayor utilidad, cuya magnitud en una mezcla líquida varía por lo general en una forma no lineal con su composición. Por ejemplo, si se deseara preparar 100 cm³ de una bebida alcohólica mezclando 30 cm³ de etanol con 70 cm³ de agua, solamente se obtendrían 97.3 cm³ de mezcla y no los 100 requeridos (volumen ideal). Esto se debe a que el empaquetamiento molecular de la mezcla cambia con respecto al de los componentes puros, es decir, los volúmenes molares parciales de los componentes puros en una mezcla cambian con la composición ya que el entorno de cada molécula también lo hace, al variar la composición desde el componente puro A hasta el componente puro B. Precisando, el volumen molar parcial del componente A en una mezcla binaria se define como: el cambio diferencial en el volumen de la mezcla V_m al aumentar la cantidad de moles del componente A (n_A), manteniendo constantes: la cantidad de moles del otro componente (n_B), a temperatura y presión constante como se muestra en la ecuación 2a, y como se muestra en la ecuación 2b

$$\bar{V}_A = \left(\frac{\delta V_m}{\delta n_A} \right)_{p, T, n_B} \quad (2a)$$

$$\bar{V}_B = \left(\frac{\delta V_m}{\delta n_B} \right)_{p, T, n_A} \quad (2b)$$

El volumen molar de mezcla y el volumen de mezcla V_m , se relacionan a través de la ecuación 3

$$\bar{V}_m = \frac{V_m}{n_T} \quad (3)$$

El volumen de mezcla y el molar a cualquier composición molar se relacionan como se expresan en las ecuaciones 4 y 5

$$V_m = n_A \bar{V}_A + n_B \bar{V}_B \quad (4)$$

$$\bar{V}_m = x_A \bar{V}_A + x_B \bar{V}_B \quad (5)$$

En mezclas etanol-agua los volúmenes molares parciales de los componente A y B cambian con la composición. El volumen molar de mezcla \bar{V}_m para cualquier valor de x_B se calcula mediante el método gráfico de la ordenada al origen (método de la tangente), al trazar la tangente sobre la curva que relaciona \bar{V}_m versus x_B en la composición deseada correspondiendo las intersecciones de la recta tangente Tg con los ejes verticales a los volúmenes molares parciales como se muestra en la Figura 1.

La ecuación de la recta tangente $\bar{V}_B - \bar{V}_A$ se describe en la ecuación (6)

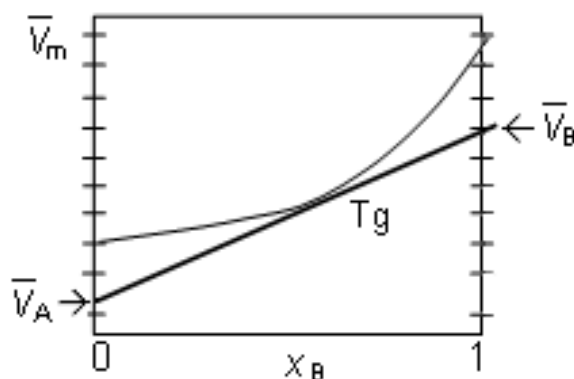


Fig. 1: Gráfica volumen molar de mezcla vs. fracción mol

$$(\bar{V}_m)' = \bar{V}_A + (\bar{V}_B - \bar{V}_A) x_B \quad (6)$$

En donde la ordenada en el origen es el volumen molar parcial del componente A \bar{V}_A y el valor de la pendiente más el de la ordenada corresponde al volumen molar parcial del componente B \bar{V}_B .

La ventaja de utilizar la calculadora-graficadora con respecto a una hoja de cálculo como Excel (Aplicaciones empresariales, 2015), implica en el caso de Excel el uso de una computadora y la necesidad de haber tomado un curso especializado en el uso de la hoja de cálculo. El error de cálculo es mayor en la computadora usando Excel donde además no hay la opción de regresión logística. Según el artículo anterior, para algunas personas "Los gráficos son insuficientes o de mala calidad", ya que presentan deformación estructural, lo cual los hace una imagen representativa y no un modelo de evaluación algo en lo que una calculadora de tipo graficadora puede ser útil en la capacidad de arrojar resultados a partir de la gráfica y no de los cálculos como tal. La calculadora VOYAGE 200 es más pequeña que un computador y de fácil transporte. No tiene juegos ni internet como en las computadoras en las cuales a veces el alumno entra y puede distraerse en el tiempo de la parte experimental. Una ventaja de las calculadoras es su menor costo y fácil mantenimiento. Para obtener los gráficos en papel de la regresión logística la calculadora cuenta con conexión a la computadora e impresora (TI Connect™). El espacio de los laboratorios de química no es adecuado para las computadoras por los vapores de los químicos, las calculadoras por ser pequeñas pueden guardarse en un armario.

Según Poveda y Murillo (2014), la computadora presenta algunas ventajas sobre la calculadora, el despliegue visual del gráfico es mejor en Excel y la velocidad de respuesta es mayor. Según Fernández y González (2014) la calculadora Voyage se tiene que manejar con manual en la mano. La calculadora actúa a disposición de instrucciones solamente memorizables a costa de uso constante, y es casi imposible seguir adelante con nuevas instrucciones si no es con el manual en mano (Fernández & González, 2014).

Las ventajas de utilizar hojas de excel es que se pueden emplear desde la web o Smartphone y las versiones como la "Microsoft Excel mobile 2010" es una versión móvil que comparte resultados de trabajo en equipo y su versión "Excel web App" permite editar hojas de cálculo con personas en diferente ubicación.

Las desventajas de Excel es que se maneja a través de una computadora y su costo es más alto, los archivos requieren mucho espacio y se puede presentar pérdida de datos en caso de cierre inesperado del programa, es compatible solo con Windows y Mac. Se necesita actualizar las versiones de Excel a versiones más modernas o nuevas. Si no se utiliza de la manera correcta y no se tiene la experiencia para manejarlo y se comete algún error hay que comenzar de nuevo. Tomar notas durante el manejo de Excel es también complicado.

El objetivo del presente trabajo es incluir el uso de las tecnologías en la docencia experimental para facilitar el trabajo de profesores y alumnos además de reducir el tiempo de tratamiento de datos; entrega y evaluación de resultados. Las materias experimentales de química en la Universidad Autónoma Metropolitana constan de 3 horas para el desarrollo de cada práctica y es deseable que los alumnos alcancen los objetivos de aprendizaje programados en ese tiempo. En la práctica de Físicoquímica de los Materiales "Volumen Molar Parcial" (Estrada *et al.*, 2008; De Paula & De Paula, 2008), los datos experimentales se grafican obteniendo la tangente manualmente en determinadas fracciones molares. Los alumnos se llevan esta tarea a casa para elaborar el informe y entregarlo una semana después para que los docentes entreguen el resultado de la evaluación a la semana siguiente. El uso de la calculadora Texas Voyage 200 con la aplicación Regresión Logística (Poveda & Murillo, 2014; Fernández & González, 2014) permite el trazo de la curva y las tangentes in situ alcanzando el objetivo: "Determinar en forma gráfica (método de la tangente e intersección sobre los ejes) el volumen molar parcial del etanol y del agua, en mezclas de composición conocida"

METODOLOGÍA

Los volúmenes molares de mezcla etanol-agua se obtienen a partir de las densidades experimentales para las fracciones molares de etanol $X_B = 0.2, 0.4, 0.5, 0.6$ y 0.8 por el método del picnómetro, se registran en la Tabla 1. La regresión logística se aplica a estos datos (considerando también los volúmenes molares de los componentes puros) la curva se obtiene utilizando la calculadora-graficadora de la Figura 2 y se registra en la Figura 3. De la curva resultante se obtienen los volúmenes molares parciales del agua y del etanol en las mezclas a partir de la ecuación de la recta tangente en la composición deseada Figuras 4-8 y se registran en la Tabla 2. Para la regresión logística de los datos se usó la calculadora TEXAS VOYAGE™ 200 en las aplicaciones Data/Matriz y Y =Editor. Durante la experimentación se trabajó con guantes y cubreboca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra la densidad experimental de las mezclas y el cálculo de los \bar{V}_m en la referida fracción mol X_B (se incluyen los volúmenes molares de los componentes puros). La curva experimental se obtiene de la regresión \bar{V}_m logística experimental contra X_B (datos de la Tabla 1) usando la calculadora-graficadora VOYAGE de la Figura 2 y la curva se muestra en la Figura 3. Las Figuras 4 a 8 exhiben los gráficos y ecuaciones de las rectas tangentes sobre la curva en la respectiva X_B , obtenidas en segundos cuando se pide este cálculo en Y =Editor, F5 Math, A: Tangent.

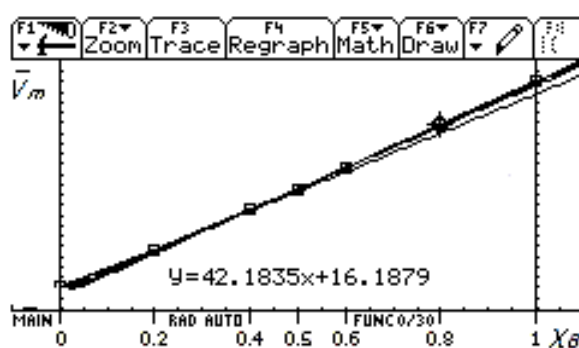
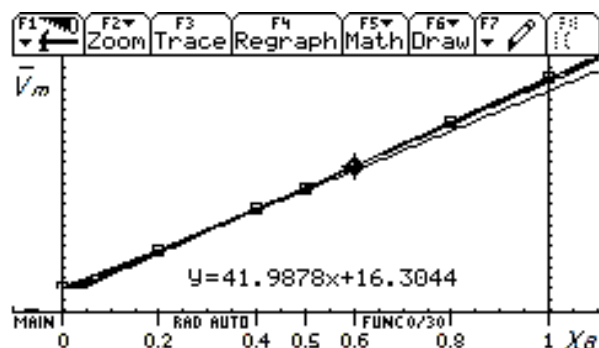
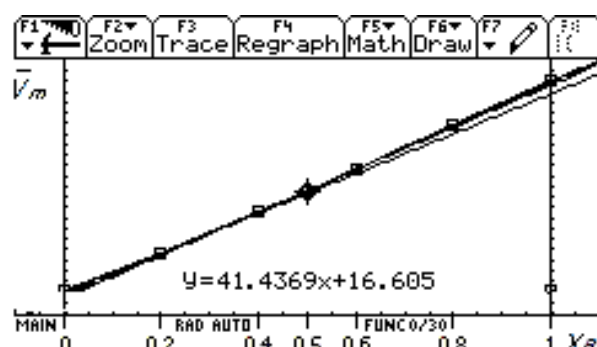
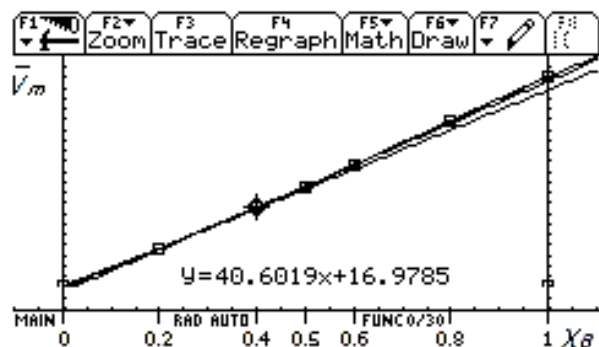
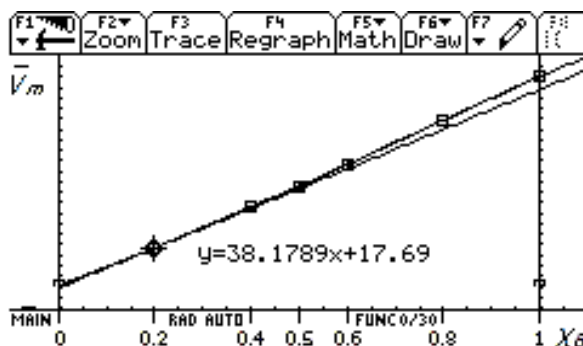
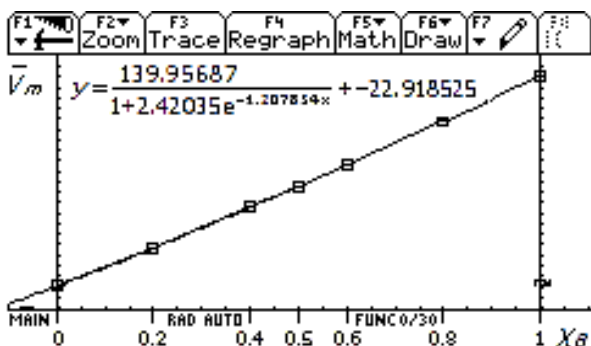
Tabla 1: Volumen molar de mezcla etanol agua calculado a través de la densidad experimental.

Fracción mol de EtOH X_B	Densidad experimental de mezcla ρ_m [g/mL]	Volumen molar de mezcla (experimental) $(X_{H_2O} M_{H_2O}) + (X_{EtOH} M_{EtOH})$ ----- $(\rho_m) (X_{H_2O} + X_{EtOH})$ [mL/mol]
0	0.999*	18.03**
0.2	0.936	25.24
0.4	0.879	33.26
0.5	0.857	37.39
0.6	0.839	41.53
0.8	0.811	49.89
1	0.79*	58.31**

* ρ de los componentes puros. **Volumen molar de los componentes puros.
 $M_{H_2O} = 18.01$ g/mol. $M_{EtOH} = 46.07$ g/mol



Fig. 2: Calculadora-graficadora TEXAS VOYAGE 200



La Tabla 2 registra las ecuaciones de las tangentes, los \bar{V} parciales: del alcohol (pendiente más ordenada) y del agua (ordenada en el origen) y el valor del \bar{V}_m calculado con los volúmenes molares parciales.

Tabla 2: Ecuación de las rectas tangentes, volúmenes molares parciales y volumen molar de mezcla de las fracciones mol 0.2 a 0.8 de las mezclas etanol-agua.

X_{etanol}	Ecuación de la recta tangente de la regresión logística	Volumen molar parcial del agua (ordenada en el origen) [mL mol ⁻¹]	Volumen molar parcial del etanol (pendiente más ordenada) [mL mol ⁻¹]	Volumen molar de mezcla calculado con los volúmenes molares parciales*
0.2	Y=38.1789x +17.69	17.69	55.8689	25.33
0.4	Y=40.6019x+16.9785	16.9785	57.5804	33.22
0.5	Y=41.4369x+16.6050	16.6050	58.0419	37.32
0.6	Y=41.9878x+16.3044	16.3044	58.2922	41.50
0.8	Y=42.1835x+16.1879	16.1879	58.3714	49.93

* $\bar{V}_{molar\ de\ mezcla} = X_{H_2O} \bar{V}_{H_2O} + X_{EtOH} \bar{V}_{EtOH}$

Tabla 3: Porcentaje de error entre la densidad experimental y la reportada en la literatura para muestras de etanol-agua.

X_{etanol}	Densidad de mezcla [g mL ⁻¹]		*Porcentaje de error entre las densidades
	reportada en la literatura	experimental	
0.2	0.937	0.936	0.11 %
0.4	0.884	0.879	0.57 %
0.5	0.863	0.857	0.70 %
0.6	0.847	0.839	0.94 %
0.8	0.810	0.811	0.12%
	Porcentaje de error promedio		0.49%

* $\text{Porcentaje de error} = \frac{|\text{valor experimental} - \text{valor de la literatura}|}{\text{Valor de la literatura}} \times 100$

En la Tabla 4 se presenta el porcentaje de error entre los volúmenes molares de mezcla calculados con la densidad de la literatura y los calculados a través de los volúmenes molares parciales (método de la tangente).

Tabla 4: Porcentaje de error entre los \bar{V}_m calculados con la densidad de la literatura y el calculado con los volúmenes Molares parciales \bar{V}_A, \bar{V}_B . Porcentaje de error promedio

X_{etanol}	Volumen molar de mezcla [mL mol ⁻¹]		Porcentaje de error entre los volúmenes molares
	calculado con la densidad de la literatura	calculado con los volúmenes molares parciales (método experimental)	
0.2	25.21	25.33	0.48 %
0.4	33.07	33.22	0.45 %
0.5	37.13	37.32	0.51 %
0.6	41.14	41.50	0.88 %
0.8	49.95	49.93	0.04%
	Porcentaje de error promedio		0.47%

El porcentaje de error entre las densidades experimentales y las reportadas en la literatura (Tabla 3) es menor del 1% (error promedio 0.49%) lo cual indica que el desarrollo experimental fue adecuado.

Los puntos experimentales volumen molar de mezcla versus fracción mol (Tabla 1) generan la ecuación (9) producto de la regresión logística:

$$y = \frac{139.95687}{1 + 2.42035e^{-1.207654x}} + -22.918525 \quad (9)$$

Los datos experimentales muestran un buen ajuste con la curva generada por la ecuación 9 como se observa en la Figura 2 donde los puntos experimentales caen sobre la curva.

El porcentaje de error entre los volúmenes molares de mezcla etanol-agua calculados con datos de la literatura y los calculados con los volúmenes molares parciales (regresión logística, método de la tangente con intersección en los ejes), es menor del 1% Tabla 4 (error promedio 0.47%) lo cual valida el modelo logístico.

El tiempo de tratamiento de datos en la calculadora graficadora es de aproximadamente 10 minutos, los estudiantes (por equipo de trabajo) cuentan con una. Los docentes proporcionan una guía rápida para que el estudiante realice eficientemente el tratamiento de datos. Al final de la clase se discuten las experiencias. Lo importante de esta actividad es que los alumnos son los que están trabajando con la calculadora; están construyendo su conocimiento con la guía del profesor. Las calculadoras pueden conectarse a una computadora para imprimir los gráficos y sus ecuaciones o a un proyector de pantalla para que el grupo de alumnos visualice los resultados de su trabajo experimental y el profesor discuta y corrija, de ser necesario, el reporte final. Como herramienta docente, las calculadoras-graficadoras son instrumentos de cambio en la educación para las carreras de ingeniería y particularmente en la materia de Físicoquímica. El uso de guantes de látex evita alterar el peso del picnómetro por la grasa natural de las manos y poder tener mejores pesos de las sustancias, también evita contaminar el material de vidrio ya que el alumno acostumbra a tocar las pipetas en la punta, la cual introduce en las sustancias líquidas como el alcohol que solubiliza fácilmente a las grasas y lo cual hace a la mezcla binaria etanol-agua una mezcla ternaria. El uso de cubrebocas evita en el mismo sentido contaminar las sustancias o a la persona misma con las sustancias.

Para que el docente incorpore exitosamente este tipo de herramientas deben considerar los siguientes puntos (Meza, 2001):

- Los educadores deben de capacitarse adecuadamente para poder implementar la tecnología en el aula
- Propiciar un buen ambiente de trabajo, para el logro de aprendizajes significativos
- Tomar en cuenta que la implementación tecnológica debe de fundamentarse en un proceso analítico, crítico, creativo y riguroso, que debemos de apoyar con la investigación educativa permanente.
- Introducir la tecnología cuando realmente sea necesaria para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Al respecto en cuanto al último punto se compararon los datos experimentales de este reporte con otros trabajos en cuanto al proceso experimental, el uso de diferentes regresiones estadísticas y la diferencia entre una hoja de cálculo aplicando la regresión polinómica de tercer grado (Rodríguez *et al.*, 2002; Kestin, 1979; Perrot, 1998) y el uso de la calculadora-graficadora aplicando la regresión logística. En la Tabla 5 se contrastan los errores entre (A) los datos experimentales y cálculos de la literatura (Jiménez *et al.*, 2004) y (B) los presentados en este trabajo.

El error promedio entre los volúmenes molares de mezcla calculados con (B) el método de regresión logística usando la calculadora-graficadora Texas VOYAGE 200 y los calculados con las densidades de la literatura es menor en 1% con respecto al error promedio (A) entre los volúmenes molares calculados con el modelo de regresión polinómica de tercer grado aplicada por Jiménez *et al.* (2004) y los calculados con las densidades de la literatura. La regresión polinómica se confirmó realizándola en una hoja de cálculo Excel con los datos proporcionados en el artículo y las densidades reportadas en la literatura (Belda *et al.*, 2004). El modelo de regresión logística fue ligeramente mejor que el modelo de regresión polinómica de tercer grado. El tiempo de cálculo de los volúmenes molares parciales realizados a mano es de aproximadamente 1 h, el método de regresión polinómica realizada en una hoja de cálculo Excel y la derivada de la ecuación polinómica para la obtención de dV/dX en cada punto de concentración molar deseada para calcular los volúmenes molares por el método de Bakhuis-Roozeboom es de aproximadamente 0.5 h, el tiempo de cálculo de los volúmenes molares parciales por el método gráfico de la tangente e intersecciones es de aproximadamente 10 min.

Tabla 5: Método estadístico y herramienta de cálculo para (A) y (B)

<p>A) Regresión polinómica de tercer grado (Volumen de mezcla experimental <i>versus</i> fracción mol de etanol)</p> $y = -2.739x^3 + 8.5573x^2 + 34.467x + 18.047$ <p>Hoja de cálculo Excel de un ordenador</p>	<p>B) Regresión logística (Volumen de mezcla experimental <i>versus</i> fracción mol de etanol)</p> $y = \frac{139.95687}{1 + 2.42035e^{-1.207654}} + -22.918525$ <p>Calculadora-graficadora Texas VOYAGE 200</p>
<p>Error promedio entre los volúmenes molares de mezcla: calculado con los volúmenes molares parciales* y los de la literatura a 20°C 1.47%</p>	<p>Error promedio entre los volúmenes molares de mezcla: calculado con los volúmenes molares parciales** y los de la literatura a 20°C 0.47%</p>

*Calculados por el método clásico de Bakhuis-Roozeboom
 $\bar{V}_A = V_{mezcla\ experimental} + X_{agua}(dV/dX_{etanol})$
 $\bar{V}_B = V_{mezcla\ experimental} - X_{etanol}(dV/dX_{etanol})$
 dV/dX_{etanol} es la segunda derivada de la regresión polinómica de tercer grado del volumen experimental *vs.* fracción mol de etanol X_B .

** Intersecciones de la recta tangente en el eje Y
 \bar{V}_A intersección en $X_B = 0$, ordenada en el origen
 \bar{V}_B intersección en $X_B = 1$, pendiente + ordenada en el origen.

CONCLUSIONES

Se prefirió el uso de la calculadora-graficadora Texas VOYAGE 200 como opción entre ésta y las computadoras por: fácil traslado, ofrece un menor costo y pueden comprarse varias para un grupo de alumnos, fácil mantenimiento no muy costoso (revisión del estado de las pilas y el programa main), tiene la aplicación estadística del modelo de regresión logística que mejor ajusta los datos de volumen molar de mezcla contra composición con respecto a otras regresiones (por ejemplo la polinómica) y esta función es fácil de aplicar, requiere menor tiempo de cálculo y la única necesaria en el desarrollo de la práctica "Volumen molar parcial", se puede proteger mejor de los químicos del laboratorio que a las computadoras y no provoca distracción por la adición de los alumnos a juegos y redes sociales.

La regresión logística mejoró los porcentajes promedios de error entre la comparación de los volúmenes molares de la literatura y experimentales (0.47%) con respecto a las densidades de la literatura y experimentales (0.49%).

El despliegue de los gráficos y el trazo de las tangentes ayudan a los estudiantes a construir imágenes mentales y facilitan sus procesos de conceptualización (Gómez, 1997; Murillo, 1997).

La observación de las medidas de higiene y seguridad como el uso de guantes y cubreboca permite tener datos experimentales más confiables al evitar la contaminación de material y reactivos, práctica donde la exactitud de los pesos es necesaria.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Técnico de Laboratorio Rodrigo Montiel Gress de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco por el apoyo en la etapa final de la experimentación.

REFERENCIAS

1. Aplicaciones Empresariales.com (2015). Desventajas de Excel. Documento Internet: <http://www.empresa.yeconomia.es/aplicaciones-para-empresas/desventajas-excel.html>. <http://www.aplicacionesempresariales.com/desventajas-excel.html>. <http://es.slideshare.net/Ruth1993/ms-excel-2010>

2. Belda R., Herraéz, J. V. & Díez O. (2004). Rheological study and thermodynamic analysis of the binary system (water/ethanol): influence of concentration. *Phys. Chem. Liquids*, 42 (5), 467.
3. De Paula, A. & De Paula, J. (2008). Química Física, Cap. 5, pp. 136-138. 8ª. ed. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana S.A.
4. Domínguez E. & Aldana, D. (2001). Regresión logística. Un ejemplo de su uso en endocrinología. *Rev. Cubana Endocrinol.*, 12 (1), 58-64.
5. Estrada D., Mújica V., Barceló I., Solís H., Holguín S. & Torres M. (2008). Prácticas de Laboratorio de Físicoquímica de los Materiales, Práctica No. 1 Volumen molar parcial, pp. 1-7, Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F., México. Sitio web: <http://hdl.handle.net/11191/2763>
6. Fernández L. & González. E. (2014). Manejo y uso de aplicaciones de calculadora Voyage™ 200. Regresión logística aplicada a cálculos de volumen molar parcial. Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F., México. Sitio web: <http://hdl.handle.net/11191/2764>
7. Gómez, P. (1997). Tecnología y educación matemática. *Informática Educativa*, 10 (1), 93-111. Sitio web: <http://funes.uniandes.edu.co/319/1/GomezP97-1919.pdf>
8. Jiménez J., Manrique J. & Martínez F. (2004). Effect of temperature on some volumetric properties for ethanol + water mixtures. *Rev. Col. Cienc. Quím. Farm.* 33 (2), 145-155.
9. Kestin J. (1979). A Course in Thermodynamics, pp. 331-332. New York: McGraw-Hill.
10. Meza, L. (2001). Aprendamos matemática con la hoja electrónica EXCEL. En: Memorias del II Congreso Internacional sobre la Enseñanza de la Matemática Asistida por Computadora. 05 al 07 de diciembre, Costa Rica. Sitio web: <http://www.cidse.itcr.ac.cr/ciemac/memorias/2CIEMAC.html>
11. Magadi, M.A. (2011). Crossanational analysis of the risk factors of child malnutrition among children made vulnerable by HIV/AIDS in sub-Saharan Africa: evidence from the DHS. *Tropical Medicine and International Health*, 16 (5), 570-578. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3156.2011.02733.x>
12. Murillo, M. (1997). A teacher's beliefs and conceptions on using calculators in the classroom: a case study. Tesis para optar por el grado de Maestría. Florida State University. Tallahassee, Fl.
13. Navarro, A.M. & González, R.S. (2010). Los hogares con jefatura femenina y la calidad de vida. Chihuahua y Tijuana, (2005). *Estudios Demográficos y Urbanos*, 25 (1), pp. 45-72. [en línea] 2010, 25 (Enero-Abril): [fecha de consulta: 23 de octubre de 2014] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31221540002>. ISSN 0186-7210
14. Perrot, P. (1998). A to Z of Thermodynamics, pp. 221-225. New York: Oxford University Press.
15. Prieto, C. (2009). Información y consumo de drogas. La TV como factor de riesgo en niños escolares. *Comunicar*, 17(33), 125-132.
16. Poveda, R. & Murillo, M. (2014). Las nuevas tecnologías en la enseñanza y aprendizaje de la matemática. Documento de Internet: <http://www.centroedumatematica.com/aruz/libros/Uniciencia/Articulos/Volumen1/Parte6/articulo10.html>
17. Reyes, J., Escobar, C., Duarte, J. & Ramírez, P. (2007). Una aplicación del modelo de regresión logística en la predicción del rendimiento estudiantil. *Estudios pedagógicos*, 33 (2), pp. 101-120. [en línea]: fecha de

consulta: 23 de octubre de 2014 Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07052007000200006&script=sci_arttext

18. Rodríguez, S., Vargas, R.A., Pinzón, J.A., Barbosa, M.J. & Martínez, F. (2002). Aplicación del método de Bakhuis-Rooseboom para el cálculo de volúmenes específicos parciales en sistemas ternarios, *Rev. Col. Cienc. Quím. Farm.*, 31 (1), 11-18.
19. Salas, M. (1996). La regresión logística. Una aplicación a la demanda de estudios universitarios. *Estadística Española*, 38 (141), 193-217.
20. Silva, L.C. (2007). Excursión a la regresión logística en ciencias de la salud. Ediciones Díaz de Santos España, España. http://www.bidi.uam.mx:8331/V/RLPCXKEJ865917M8URF5RCSEHQIA4T7QKBSXISLRTGHE NTK53Y-05466?func=quick-3&short-format=002&set_number=002358&set_entry=000001&format=999
21. Texas Instrument (2014). T-Inspire Guía de referencia, pp58-59. [en línea]: fecha de consulta: 30 de octubre de 2014. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/219645952/TI-NspireCAS-ReferenceGuide-ES-1-pdf>