

# METAORGANIZACIÓN DE VARIABLES QUÍMICAS EN RESOLUCIÓN DE MEZCLAS EN DISOLUCIONES

## METAORGANIZATION OF CHEMICAL VARIABLES IN RESOLUTION OF MIXES IN DISSOLUTIONS

Juan Vargas M<sup>1</sup>, Tatiana Urzúa LL<sup>1</sup>.

### Resumen

En este trabajo se establece una metodología, en el marco de la IUPAC, para obtener las diferentes ecuaciones en función de variables químicas, que dan cuenta de las diferentes formas para expresar la composición cuantitativa para mezclas de disoluciones. Tradicionalmente para resolver situaciones de mezclas en disolución acuosa se recurre a métodos matemáticos asociados a sistemas de ecuaciones lineales o utilizar reglas nemotécnicas, como la cruz de mezcla, alejándose del lenguaje propio de la química.

**Palabras clave:** mezclas, disoluciones acuosas, composición cuantitativa de una disolución acuosa.

### Abstract

In this paper, a methodology is established, within the framework of the IUPAC, to obtain the different equations based on chemical variables, which account for the different ways to express the quantitative composition for these systems. Traditionally, to solve situations of mixtures in aqueous solution, we resort to mathematical methods associated with systems of linear equations or use mnemonic rules, like the mixing cross, away from the proper language of chemistry.

**Keywords:** mixtures, aqueous solutions, quantitative composition of an aqueous solution.

## Introducción

Las mezclas de disoluciones es una temática muy poco abordada en la enseñanza de la química, lo que se ve reflejado tanto los textos de química de educación media como de educación superior. Resulta paradójico encontrar que algunas de estas situaciones sean abordadas en textos de matemática con la finalidad de aplicar sistemas ecuaciones lineales. En el ámbito de la química se recurre a métodos nemotécnicos, como la cruz de malta (<https://homework.net.ua/es/razbavlenie-i-smeshenie-rastvorov-i-drugix-veshhestv/>) proporciones, ecuaciones de primer grado, entre otros, lo que resulta difícil explicar desde el punto de vista estrictamente químico. En la vida cotidiana se encuentran una serie de situaciones concretas de mezclas, ejemplos: joyería, ámbito de la medicina, industria, etc. La enseñanza de esta temática desde el punto de la didáctica de la química en el marco de la enseñanza tradicional de la química, es compleja tanto para profesores como estudiantes.

El problema descrito anteriormente, se debería a la ausencia de un manejo conceptual riguroso de las diferentes magnitudes físicas que permiten expresar la composición cuantitativa de una disolución recomendado por la IUPAC (IUPAC, 2008; Vargas y Urzúa, 2016). Un manejo conceptual riguroso, permite encontrar la forma en que las magnitudes físico químicas se encuentran relacionadas a través de ecuaciones formales que

permiten resolver diferentes situaciones de mezclas de disoluciones.

## Metodología

La Tabla 1, describe el marco conceptual recomendado por la IUPAC (IUPAC, 2009; Vargas y Urzúa, 2016). Esta Tabla contiene las diferentes magnitudes físicas para expresar la composición cuantitativa de una disolución. A partir de ella, se obtienen las diferentes ecuaciones que permite relacionar a las variables químicas, en este caso, mezclas de disoluciones.

Las diferentes formas de expresar la composición de una disolución que describe la Tabla 1, tradicionalmente en la mayoría de los textos tanto nacionales (Ávila, et al., 2011; Cabello, 2018) como internacionales (Chang, 2013) se identifican como diferentes formas de expresar una única magnitud física que es la *concentración de una disolución* y se subdividen en unidades químicas y físicas de concentración, tales como la molaridad, fracción molar, normalidad, molalidad, porcentaje peso/peso (% p/p); porcentaje peso/volumen (% p/V) y porcentaje volumen/volumen (% V/V).

La molaridad no es recomendada porque no es una magnitud física molar, sólo pueden usar el adjetivo calificativo “molar” aquellas magnitudes físicas que se encuentren expresadas por cantidad unitaria de sustancia,

**Tabla 1.** Magnitudes Físicas que describen la composición de una disolución

Magnitud Física	Ecuación Definición	Dimensión Física	Unidad frecuente
Concentración de cantidad	$c_B = \frac{n_B}{V}$	NL <sup>-1</sup>	mol L <sup>-1</sup>
Concentración de masa	$\gamma_B = \frac{m_B}{V}$	ML <sup>-3</sup>	g L <sup>-1</sup>
Concentración de número	$C_B = \frac{N_B}{V}$	L <sup>3</sup>	L <sup>-1</sup>
Fracción másica	$\omega_B = \frac{m_B}{m}$	Adimensional	1
Fracción molar	$\chi_B = \frac{\tilde{n}_B}{n}$	Adimensional	1
Fracción volumétrica	$\phi_B = \frac{V_B}{V}$	Adimensional	1
Fracción de número	$X_B = \frac{N_B}{N}$	Adimensional	
molalidad	$b_B = \frac{n_B}{m_A}$	NM <sup>-1</sup>	mol kg <sup>-1</sup>

B = soluto ; A: Solvente;  $V = V_A + V_B$  (Volumen de solvente y soluto se suponen aditivos);  $m = m_A + m_B$  (masa de solvente más masa de soluto);  $N = N_B + N_A$ ;  $n = n_A + n_B$

ejemplo masa molar,  $M = m/n$  (g/mol). En el caso de la Molaridad aparece expresada por cantidad unitaria de volumen, es decir, Molaridad = número de moles de soluto /litro de disolución (mol/L), en este caso se encuentra expresada en función de unidad de volumen y no de cantidad de sustancia, además, aparece definida en forma poco rigurosa en función de unidades de medidas.

Por otra parte, no es recomendado el uso de la Normalidad, pues no se encuentra definido oficialmente el equivalente y por ser innecesaria su uso. De acuerdo a la IUPAC (Tabla 1), existen tres tipos de concentraciones: concentración de cantidad (lo que era la molaridad); concentración másica o de masa (lo que era el % p/V) y concentración de número que no es usada en la química tradicional.

Existen tres magnitudes físicas que se identifican como fracciones: fracción másica o de masa (lo que es % p/p); fracción de número (no definida en la química tradicional) y fracción molar cada una con su propia simbología. Existe el error de expresar el % p/V toda vez que el porcentaje es adimensional. Por otra parte, se utiliza erróneamente el concepto de peso en vez de masa. Las tres concentraciones descritas corresponden a magnitudes físicas independientes pues tienen diferentes dimensiones físicas; las fracciones son adimensionales. Finalmente, en lo que se coincide con la química tradicional es con la molalidad que como magnitud física tiene su propia dimensión física. En este caso, se recomienda utilizar el símbolo  $b_B$  (molalidad de un soluto) en reemplazo del símbolo  $m$ , éste último reservado sólo para describir la magnitud física masa ( $m$ ).

El análisis anterior permite concluir que las diferentes magnitudes físicas que se utilizan para expresar la composición de una disolución al tener dimensiones físicas diferentes, no se pueden considerar como una forma única de expresión como es el caso de *concentración* tal como ocurre en la química tradicional. No obstante, lo anterior, actualmente existen algunas publicaciones que paulatinamente han incorporado el enfoque recomendado por la IUPAC (Atkins, 2012).

De la Tabla 1, se pueden deducir las ecuaciones que muestran la Tabla 2 que contienen en común:  $n_B$ ;  $m_B$ ,  $N_B$  y  $V_B$

**Tabla 2.** Ecuaciones de igualdad para  $n_B$ ;  $m_B$ ,  $N_B$  y  $V_B$

$n_B$	$m_B$	$N_B$	$V_B$
$n_B = c_B V$	$m_B = \gamma_B V$	$N_B = C_B V$	$V_B = \phi_B V$
$n_B = \chi_B n$	$m_B = \omega_B m$	$N_B = X_B N$	
$n_B = b_B m_A$			

(\*)  $n_B$ ;  $m_B$  y  $N_B$  corresponden a variables intensivas;  $V$  supone volúmenes aditivos

A partir de estas igualdades, se pueden deducir las ecuaciones de mezclas de las diferentes magnitudes físicas que expresan la composición cuantitativa de una disolución.

## Resultados y discusión

La aplicación de las Tablas 1 y 2 permiten obtener las ecuaciones de mezclas que se describen a continuación:

### 1. Concentración de cantidad de una mezcla:

Si se mezclan dos disoluciones cuyo soluto y solvente son de la misma naturaleza, por ejemplo: una disolución acuosa de 500 mL de HCl de una concentración de 0.5 mol.L<sup>-1</sup>, con 300 mL de una disolución acuosa de HCl cuya concentración es de 0.1 mol.L<sup>-1</sup> ¿Cuál es la concentración de la mezcla?

Según la ecuación planteada en la Tabla 1 y las igualdades mostradas en la Tabla 2, se tiene:

$$c_B = \frac{n_B}{V} \text{ se tiene que } n_B = C_B \cdot V$$

Aplicando la ecuación anterior se puede determinar la cantidad de sustancia ( $n_B$ ) que aporta cada disolución:

$$\text{Disolución 1 : } (n_B)_1 = (C_B V)_1 = 0,5 \text{ mol.L}^{-1} \cdot 0,5 \text{ L} = 0,25 \text{ mol}$$

$$\text{Disolución 2: } (n_B)_2 = (C_B V)_2 = 0,1 \text{ mol.L}^{-1} \cdot 0,3 \text{ L} = 0,03 \text{ mol}$$

Cantidad de sustancia total aportadas por ambas disoluciones:

$$(n_B)_{total} = 0,28 \text{ mol}$$

Se supone como aproximación, que los volúmenes de ambas disoluciones son aditivos puesto que corresponden a disoluciones diluidas, por lo tanto, se tiene que:

$$V_T = 300 \text{ mL} + 500 \text{ mL} = 800 \text{ mL} = 0,8 \text{ L}$$

Volviendo a la ecuación inicial, se tiene que la concentración de la mezcla será igual la cantidad de sustancia total dividido por el volumen total aportado por ambas disoluciones:

$$c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{0,28 \text{ mol}}{0,8 \text{ L}} = 0,35 \text{ mol.L}^{-1}$$

La resolución de este ejemplo se puede resumir en una ecuación única de mezcla que se puede escribir de la siguiente forma:

$$c_{Bmezcla} = \frac{(c_B V)_1 + (c_B V)_2}{V_1 + V_2}$$

Para  $n$  disoluciones acuosas que se mezclan se tiene:

$$c_{B\text{mezcla}} = \frac{(c_B V)_1 + (c_B V)_2 + \dots + (c_B V)_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

Generalizando, la ecuación de mezcla será:

$$c_{B\text{mezcla}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c_B V)_i}{\sum_{j=1}^{j=n} V_j}$$

En este caso se consideran los volúmenes son aditivos.

## 2. Caso de la fracción masa en una mezcla:

Se puede ilustrar con el siguiente ejemplo:

Se mezcla 30 g de plata de una pureza de 600 milésimas con 80 g de plata de una pureza de 800 milésimas. La fracción másica en general es:

$$\omega_B = \frac{m_B}{m} \text{ despejando la masa del soluto}$$

$$m_B = \omega_B m$$

Cada disolución aporta la siguiente masa de soluto:

$$\text{Disolución 1 : } (m_B)_1 = (W_B m)_1 = 0,600 \cdot 30 \text{ g} = 18 \text{ g}$$

$$\text{Disolución 2 : } (m_B)_2 = (W_B m)_2 = 0,800 \cdot 80 \text{ g} = 64$$

La masa total presente en la mezcla es:

la masa total del soluto en la mezcla:

$$m_{\text{mezcla}} = 82 \text{ g}$$

La masa total de la disolución es:

$$m_T = m_1 + m_2 = 30 \text{ g} + 80 \text{ g} = 110 \text{ g}$$

Por lo tanto, la fracción másica de la mezcla es:

$$\omega_B = \frac{m_B}{m} = \frac{82 \text{ g}}{110 \text{ g}} = 0,745$$

Amplificando el resultado por 1000, se tiene que la fracción másica de la mezcla final es de 745 ‰ o (setecientos cuarenta y cinco milésimos). Lo anterior se puede escribir en la siguiente ecuación de mezcla:

$$\omega_{B\text{mezcla}} = \frac{(\omega_B m)_1 + (\omega_B m)_2}{m_1 + m_2}$$

Para  $n$  disoluciones que se mezclan se tiene que:

$$\omega_{B\text{mezcla}} = \frac{(\omega_B m)_1 + (\omega_B m)_2 + \dots + (\omega_B m)_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

Generalizando esta expresión:

$$\omega_{B\text{mezcla}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\omega_B m)_i}{\sum_{j=1}^{j=n} m_j}$$

Siguiendo esta misma metodología se obtiene las otras ecuaciones de mezclas.

## 3. Concentración másica de una mezcla:

De acuerdo a la Tabla 2 :

$$m_B = \gamma_B V$$

Donde  $m_B$  corresponde a la masa de soluto y  $V$  volumen de la disolución

Para el caso de la mezcla de dos disoluciones:

$$\text{Disolución 1 : } (m_B)_1 = (\gamma_B m)_1$$

$$\text{Disolución 2 : } (m_B)_2 = (\gamma_B m)_2$$

Ecuación de mezcla de  $\gamma_B$ :

$$\gamma_{B\text{mezcla}} = \frac{(\gamma_B * V)_1 + (\gamma_B * V)_2}{V_1 + V_2}$$

Para el caso  $n$  disoluciones que se mezclan:

$$\gamma_{B\text{mezcla}} = \frac{(\gamma_B V)_1 + (\gamma_B V)_2 + \dots + (\gamma_B V)_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

Generalizando:

$$\gamma_{B\text{mezcla}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\gamma_B V)_i}{\sum_{j=1}^{j=n} V_j}$$

En este caso se supone que los volúmenes son aditivos.

## 4. Fracción molar en una mezcla:

De acuerdo a la Tabla 2:

$$n_B = \chi_B n$$

Donde  $n_B$  corresponde a la cantidad de soluto y  $n$  la cantidad de disolución:

Para el caso de dos disoluciones que se mezclan:

$$\text{Disolución 1 : } (m_B)_1 = (\chi_B m)_1$$

$$\text{Disolución 2 : } (m_B)_2 = (\chi_B m)_2$$

Ecuación de mezcla de  $\chi_B$

$$\chi_{Bmezcla} = \frac{(\chi_B n)_1 + (\chi_B n)_2}{n_1 + n_2}$$

Considerando n disoluciones que se mezclan:

$$\chi_{Bmezcla} = \frac{(\chi_B n)_1 + (\chi_B n)_2 + \dots + (\chi_B n)_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n}$$

Generalizando se tiene:

$$\chi_{Bmezcla} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\chi_B n)_i}{\sum_{j=1}^{j=n} n_j}$$

### 5. Fracción volumétrica de una mezcla:

De acuerdo a la Tabla 2:

$$V_B = \phi_B V$$

Donde  $V_B$  corresponde al volumen del soluto y  $V$  el volumen de la disolución

Para el caso de dos disoluciones que se mezclan:

$$\text{Disolución 1 : } (V_B)_1 = (\phi_B m)_1$$

$$\text{Disolución 2 : } (V_B)_2 = (\phi_B m)_2$$

Ecuación de mezcla de  $\phi_B$ :

$$\phi_{Bmezcla} = \frac{(\phi_B V)_1 + (\phi_B V)_2}{V_1 + V_2}$$

Considerando n disoluciones que se mezclan:

$$\gamma_{Bmezcla} = \frac{(\gamma_B V)_1 + (\gamma_B V)_2 + \dots + (\gamma_B V)_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

Generalizando se tiene:

$$C_{Bmezcla} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (C_B V)_i}{\sum_{j=1}^{j=n} V_j}$$

En este caso se supone que los volúmenes son aditivos.

### 6. Concentración de número de una mezcla:

De acuerdo a la Tabla 2:

$$N_B = C_B V$$

Donde  $N_B$  corresponde al número de entidades elementales de soluto y  $V$  el volumen de la disolución.

Para el caso de dos disoluciones que se mezclan:

$$\text{Disolución 1 : } (N)_1 = (C_B V)_1$$

$$\text{Disolución 2 : } (N_B)_2 = (C_B V)_2$$

Ecuación de mezcla para  $C_B$ :

$$C_{Bmezcla} = \frac{(C_B * V)_1 + (C_B * V)_2}{V_1 + V_2}$$

Considerando n disoluciones que se mezclan:

$$C_{Bmezcla} = \frac{(C_B V)_1 + (C_B V)_2 + \dots + (C_B V)_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

Generalizando se tiene:

$$C_{Bmezcla} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (C_B * V)_i}{\sum_{j=1}^{j=n} V_j}$$

### 7. Fracción de número de una mezcla

De acuerdo a la Tabla 2:

$$N_B = X_B N$$

Donde  $N_B$  corresponde al número de entidades elementales de soluto y  $N$  es el número de entidades elementales en la disolución-

Para el caso de dos disoluciones que se mezclan:

$$\text{Disolución 1 : } (N_B)_1 = (X_B m)_1$$

$$\text{Disolución 2 : } (N_B)_2 = (X_B m)_2$$

Ecuación de mezcla:

$$X_{Bmezcla} = \frac{(X_B N)_1 + (X_B N)_2}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$

Considerando que n disoluciones se mezclan se tiene\_

$$X_{Bmezcla} = \frac{(X_B N)_1 + (X_B N)_2 + \dots + (X_B N)_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$

Generalizando:

$$X_{Bmezcla} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_B N)_i}{\sum_{j=1}^{j=n} N_j}$$

### 8. Molalidad de una mezcla:

De acuerdo a la Tabla N°2 :

$$n_B = b_B m_A$$

Donde  $n_B$  es la cantidad de soluto y  $m_A$  de solvente.

Para el caso de dos disoluciones que se mezclan:

$$\text{Disolución 1 : } (n_B)_1 = (b_B m)_1$$

$$\text{Disolución 2 : } (n_B)_2 = (b_B m)_2$$

Ecuación de mezcla de  $b_B$

$$b_{Bmezcla} = \frac{(b_B m_A)_1 + (b_B m_A)_2}{m_{a1} + m_{a2}}$$

Para la mezcla de n disoluciones:

$$b_{Bmezcla} = \frac{(b_B m_A)_1 + (b_B * m_A)_2 + \dots + (b_B m_A)_n}{m_{a1} + m_{a2} + \dots + m_{an}}$$

Generalizando:

$$b_{Bmezcla} = \frac{\sum_{i=1}^n (b_B m_A)_i}{\sum_{j=1}^n m_{aj}}$$

En todos los casos en que se encuentra involucrado el volumen de la disolución, éstos como aproximación se consideran aditivos por ser disoluciones diluidas. No obstante, esta aproximación, si se trabaja con las densidades de las disoluciones que se mezclan y la densidad de la disolución resultante de la mezcla, las ecuaciones de mezcla se pueden modificar introduciendo las masas de las disoluciones, ejemplo para el caso 1: Reemplazando:

$$c_{Bmezcla} = \frac{(c_B \rho_1 V_1)_1 + (c_B \rho_2 V_2)_2}{V_T}$$

$$c_{Bmezcla} = \frac{(c_B \rho_1 V_1)_1 + (c_B \rho_2 V_2)_2}{\rho V_T}$$

$\rho_1$  y  $\rho_2$  y corresponden a las densidades de las disoluciones 1 y 2 que se mezclan;  $V_T$  es el volumen total de la mezcla ( $V_1$  y  $V_2$ ) y  $\rho$  es la densidad de la disolución. De la misma forma se procede con las otras ecuaciones de mezclas.

La Tabla 3 resume las ecuaciones para el caso de mezclas de dos disoluciones que tienen el mismo soluto.

**Tabla 3.** Resumen de ecuaciones de mezclas.

$c_{Bmezcla} = \frac{(c_B V)_1 + (c_B V)_2}{V_1 + V_2}$
$\omega_{Bmezcla} = \frac{(\omega_B m)_1 + (\omega_B m)_2}{m_1 + m_2}$
$\gamma_{Bmezcla} = \frac{(\gamma_B V)_1 + (\gamma_B V)_2}{V_1 + V_2}$
$\chi_{Bmezcla} = \frac{(\chi_B n)_1 + (\chi_B n)_2}{n_1 + n_2}$
$\phi_{Bmezcla} = \frac{(\phi_B V)_1 + (\phi_B V)_2}{V_1 + V_2}$
$C_{Bmezcla} = \frac{(C_B V)_1 + (C_B V)_2}{V_1 + V_2}$
$X_{Bmezcla} = \frac{(X_B N)_1 + (X_B N)_2}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$
$b_{Bmezcla} = \frac{(b_B m_A)_1 + (b_B m_A)_2}{m_{a1} + m_{a2}}$

## Conclusiones

Se puede concluir que, disponiendo de la química de su propio lenguaje científico, es posible deducir todas las magnitudes físicas que dan cuenta de las ecuaciones de mezclas de disoluciones, sin necesidad de recurrir al lenguaje propio de la matemática, como son ecuaciones de primer grado, sistemas de ecuaciones lineales, proporciones o alternativamente reglas nemotécnicas.

## Bibliografía

- Ávila, M., Figueroa, W., Mendoza, K., Pérez, R., Ramirez, P. (2011) Química Segundo medio. Editorial Santillana.
- Atkins, P. Jones, L. (2012). Principios de Química. Ed. Panamericana. 5ª Edición

Cabello, M.I. (2018). Guía Didáctica del Docente Química 2° Medio y Texto del Estudiante, MINEDUC (2018), Química 2° Medio

Cohen, E.R., Cvitas, T., Frey, J.G., Holmström, B., Kuchitsu, K., Marquardt, R., Mills, I., Pavese, F., Quack, M., Stohner, J., Strauss, H.L., Takami, M., and Thor, A.J. (2008). "Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry", IUPAC Green Book, 3rd Edition, 2nd Printing, IUPAC & RSC Publishing, Cambridge, pp 47-48.

Chang, R. (2013). Química, 11 Edición, pp. 524-528. Mc. Graw Hill, Interamericanas Editores.

Díaz Peña M., Roig Muntaner A. Química Física, Vol. 2, pp. 827-829, 1989. Ed. Alhambra <https://homework.net.ua/es/razbavlenie-i-smeshenie-rastvorov-i-drugix-veshhestv/>

Vargas, J., Urzúa, T. (2016). Estequiometría: metaorganización de variables físico-químicas y su modelamiento. Revista Chilena de Educación Científica, 15 [2], pp. 33-42.