

CÁLCULOS DE SOLUBILIDAD BAJO CONDICIONES DE AMORTIGUAMIENTO PARA LOS CURSOS DE QUÍMICA DEL NIVEL LICENCIATURA

María Teresa Ramírez, Alberto Rojas Hernández,
Leticia Feria y Marco Antonio Fernández*

RESUMEN

Dado que la tradición de la enseñanza del análisis químico es meramente descriptiva (y desgraciadamente sigue siendo así, en general), el emprender la solución metodológica de problemas con la química analítica se ha diversificado. Estas soluciones, dependiendo de las aproximaciones realizadas, pueden llevar a diferentes tipos de error. Este artículo presenta y discute varias soluciones al problema de solubilidad del $\text{HgO}(s)$ a $\text{pH} = 13$ en presencia de etilendiamina (en) 10^{-2} M (Ramette, 1983).

ABSTRACT

The old tradition of chemical analysis teaching, fairly descriptive, (unfortunately it is still used at the present time) and the task

to give methodological solutions to problems with the modern analytical chemistry led to many different answers. These answers can fall in several kinds of error for the approximations taken to simplify the calculations. This paper discusses different solutions to the problem of $\text{HgO}(s)$ solubility at $\text{pH} = 13$ in the presence of ethylenediamine (en) 0.01 M (Ramette, 1983).

INTRODUCCIÓN

Para encontrar condiciones de equilibrio de soluciones acuosas en los cursos de química analítica (en el nivel licenciatura), aplicables al análisis químico, se han creado diferentes metodologías. Entre ellas se encuentran la de Charlot, 1967, y la de Ringbom, 1979. En México, se ha desarrollado una fusión de las dos anteriores (González y Rojas, 1988, 1989a, 1989b) que pretende — de una manera sencilla y metódica— englobar todos los efectos posibles involucrados en un sistema real, para que la solución encontrada a un problema específico sea lo más cercana posible al comportamiento experimental del sistema y, de esta forma, se pueda

comprender mejor lo que ocurre en el mismo.

La aplicación de diferentes metodologías simplificadas, las aproximaciones y las hipótesis planteadas (explícita o implícitamente, para resolver un problema) pueden llevar a respuestas diferentes, creando confusión, inseguridad y deformación conceptual en los estudiantes del nivel licenciatura (Rojas y Ramírez, 1992).

Para demostrar la aseveración anterior se presentan y discuten diferentes soluciones a un problema planteado por Ramette, 1983. Aquí cabe aclarar que este libro es bastante didáctico en la mayoría de sus temas (aunque no tanto en el de solubilidad, como se pretende demostrar en el presente trabajo). Asimismo, representa una buena alternativa frente a otros textos, pero debe ser considerado dentro del nivel básico de enseñanza de la química analítica.

El desarrollo mostrado a continuación fue elaborado por estudiantes de la carrera de Químico de la UAM-Iztapalapa durante los cursos de Química Analítica II y III, siguiendo la metodología del estudio del equilibrio químico que se enseña en ellos.

DESARROLLO

■ **Problema:** Prediga la solubilidad del óxido de mercurio (II) en una solución de etilendiamina (en) 0.01 M con $\text{pH} = 13$. Suponga que la única especie significativamente en solución del mercurio es $\text{Hg}(\text{en})_2^{2+}$.

■ SOLUCIÓN 1

El método propuesto por R.W. Ramette.

El óxido mercúrico es una sustancia insoluble con $\text{p}K_{s_1} = 25.5$ (Ramette, 1983). Sin embargo, en presencia de en y por la hipótesis planteada en el problema, la solubilidad del óxido mercúrico (s) en este medio puede escribirse como $s \approx [\text{Hg}(\text{en})_2^{2+}]$. Deben tenerse en cuenta también la constante de formación global del complejo $\text{Hg}(\text{en})_2^{2+}$ ($\log \beta_2 = 23.4$) y los valores de $\text{p}K_a$ del ion

Una sección que llama a nuestros lectores docentes a "pescar" errores en libros de texto. Hay que aclarar que el "tepache" es una bebida autóctona mexicana producida por la fermentación de la piña o anana. Cuando, por distracción, alguien tira a la mesa un poco de tepache al servirse, se dice que "regó el tepache". Esta expresión se ha generalizado en la jerga común como sinónimo de "cometer un error". ¡Adelante los valientes! Y... no vayan a regar el tepache.

*Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Departamento de Química.
Michoacán y Purísima.
Col. Vicentina
A. P. 55-534.
09340, México, D. F.

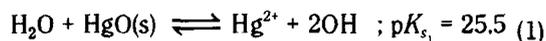
Recibido:
7 de enero de 1992

Aceptado:
3 de mayo de 1992.

$H_2(en)^{2+}$ ($pK_{a_1} = 7.13$, $pK_{a_2} = 9.91$; Ramette, 1983. El valor de \log de β_1 para el complejo $Hg(en)^{2+}$ no es presentado en esta referencia.)

Hay que hacer la aclaración que no se tomará en cuenta la fuerza iónica ni los coeficientes de actividad de las especies.

Por lo tanto, del equilibrio del producto de solubilidad



$$K_s = [Hg^{2+}][OH^-]^2 \quad (2)$$

Para considerar el efecto de la *en* como ligante *foráneo* (nomenclatura de la traducción a Ramette, 1983, por Peter Fiedler) se debe proponer ahora la multiplicación de la ecuación (2) por la función de formación (F_o) del ion Hg^{2+} por *en*

$$[Hg^{2+}] F_o = [Hg^{2+}] (1 + 10^{23.4} [en]) \quad (3)$$

El efecto de H^+ sobre *en* como especie *foránea* no debe considerarse porque a $pH = 13$

$$[en]F_o = [en](1 + 10^{9.91}[H^+] + 10^{17.04}[H^+]^2) \approx [en] \quad (4)$$

Como a $[en] = 10^{-2}$ M, la ecuación (3) puede aproximarse por

$$\begin{aligned} [Hg^{2+}](1 + 10^{23.4}[en]) &\approx [Hg^{2+}](10^{23.4}[en]) \\ &= [Hg^{2+}](10^{23.4}(10^{-2})^2) = [Hg^{2+}](10^{19.4}) \end{aligned} \quad (5)$$

entonces, de las ecuaciones (3) y (5)

$$F_o K_s \approx ([Hg^{2+}][en]^2(10^{23.4}))[OH^-]^2 \quad (6)$$

y del equilibrio de formación global de $Hg(en)_2^{2+}$, es fácil ver que

$$[Hg(en)_2^{2+}] = [Hg^{2+}][en]^2 (10^{23.4}) \quad (7)$$

por lo que se obtiene, a partir de las ecuaciones (3), (5), (6) y (7)

$$F_o K_s = 10^{19.4}(10^{-25.5}) = 10^{-6.1} = [Hg(en)_2^{2+}][OH^-]^2 \quad (8)$$

Como a $pH = 13$, $[OH^-] = 10^{-1}$ M en agua, entonces

$$\begin{aligned} [Hg(en)_2^{2+}] &= \frac{10^{-6.1}}{[OH^-]^2} = \frac{10^{-6.1}}{(10^{-1})^2} = 10^{-4.1} \text{ M} \\ &= 7.94(10^{-5}) \text{ M} \end{aligned} \quad (9)$$

Es posible ahora establecer la

□ RESPUESTA 1

La solubilidad del $HgO(s)$ en solución de $[en] = 0.01$ M y $pH = 13$ es: $s = [Hg(en)_2^{2+}] = 7.94(10^{-5})$ M.

DISCUSIÓN DE LA RESPUESTA 1

Cabe señalar que la respuesta a este problema según Ramette, 1983 (p. 783), es $s = 7.5(10^{-5})$ M. La pequeña diferencia entre estos resultados puede deberse a algu-

nas aproximaciones en los cálculos.

Además, pensamos que este método de solución al problema no es tan directo y puede resultar confuso para los estudiantes del nivel licenciatura.

Por otra parte, la notación de la función de formación F_o , no especifica qué ligante *foráneo* se está considerando, ni la especie sobre la que se está dando el efecto. Esto resulta aún más confuso para el estudiante promedio.

Por último, aunque la respuesta es autoconsistente (no presenta contradicciones internas), **no se ha demostrado la hipótesis de que el $Hg(en)_2^{2+}$ es la especie más importante en la solución.**

Si bien esto parece razonable, porque a $pH = 13$ $[en] \gg [Hen^+]$ y $[en] \gg [H_2en^{2+}]$, y porque el $Hg(en)_2^{2+}$ tiene un $\log \beta_2 = 23.4$; en el mismo libro (Ramette, 1983) se observa que también pueden formarse las especies $HgOH^+$, $Hg(OH)_2$ y $Hg(OH)_3^-$.

Las constantes de formación globales para dichos complejos dadas por Ramette (1983) son: $\log \beta_1 = 10.6$, $\log \beta_2 = 21.8$ y $\log \beta_3 = 20.9$.

Entonces se puede plantear la siguiente pregunta: ¿Será cierto que a $pH = 13$ y $pen = 2$ se forma principalmente el $Hg(en)_2^{2+}$ y no alguno de los hidroxocomplejos mercurícos?

Como una alternativa de solución, se mostrará enseguida el método de solución que considera especies y equilibrios generalizados y las constantes condicionales que los relacionan, por medio de la aproximación de equilibrios representativos (González y Rojas, 1989a, 1989b).

■ SOLUCIÓN 2

El método de equilibrios representativos.

Como el sistema tiene una doble condición de amortiguamiento ($pen = 2$, $pH = 13$) pueden definirse las especies generalizadas a segundo orden Hg'' y $Hg''(s)$. (Rojas-Hernández *et al.*, 1991, 1992). No hay más especies generalizadas a segundo orden porque el sistema puede considerarse constituido por los tres componentes $Hg(II)-en-H_2O$. Una de las "primas" en esas especies generalizadas indica que la escritura de H^+ y OH^- queda implícita en tanto que la otra "prima" indica que la escritura del ligante *en* también queda implícita.

Por definición

$$Hg'' = Hg' + Hg(en)_2'$$

y

$$Hg''(s) = Hg'(s) \quad (10)$$

Hay que notar que la definición de Hg'' y $Hg''(s)$ está dada en términos de las especies generalizadas a primer orden Hg' , $Hg(en)_2'$ y $Hg'(s)$. En ellas, la "prima" indica que la nomenclatura de H^+ y de OH^- queda implícita todavía.

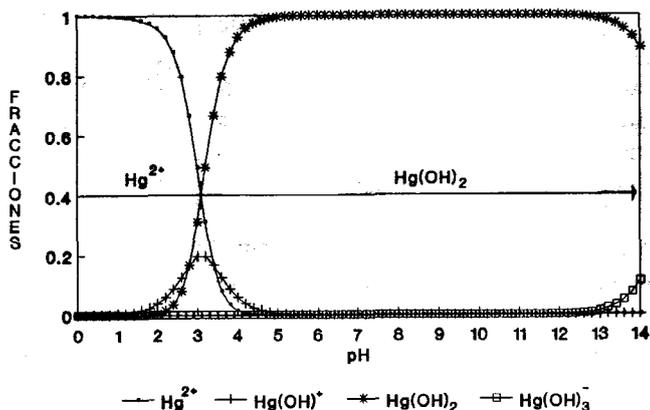


Figura 1. Diagramas de distribución y de zonas de predominio de las especies del Hg(II) en función del pH.

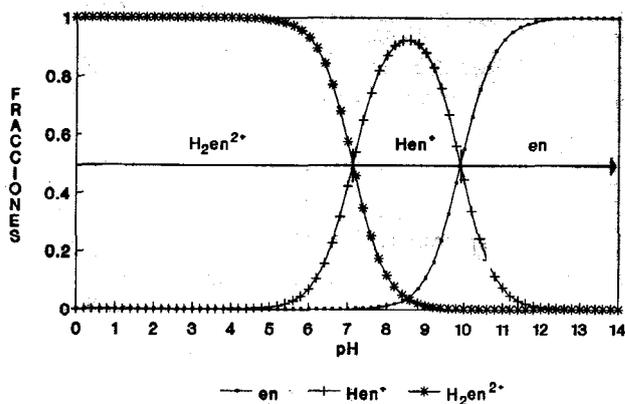
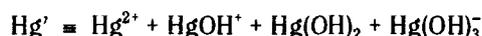


Figura 2. Diagramas de distribución y de zonas de predominio de las especies de la etilendiamina en función del pH.

Así, la definición de las especies generalizadas a primer orden es

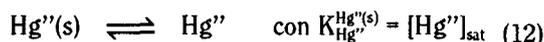


y



Es necesario aclarar que en esta nomenclatura se entiende que el problema planteado por Ramette, 1983, indica que $[\text{en}'] = 10^{-2} \text{ M}$.

Por lo tanto, en este caso se debe encontrar la solubilidad dada por el equilibrio generalizado a segundo orden (Rojas-Hernández *et al.* 1992)

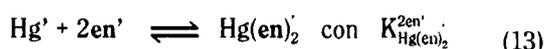


$K_{\text{Hg}''(\text{s})}^{\text{Hg}''}$ es aquí la constante de solubilidad bicondicional del $\text{HgO}(\text{s})$, que depende de los valores impuestos de pen' y pH; el subíndice $_{\text{sat}}$ marca que la ecuación sólo es válida para soluciones saturadas.

Para seleccionar las especies predominantes en el sistema a $\text{pH} = 13$, hay que hacer los diagramas de distribución – para Hg' y en' – mostrados en las figuras 1 y 2. En esas figuras se muestran también los diagramas de zonas de predominio correspondientes. (González y Rojas, 1988.)

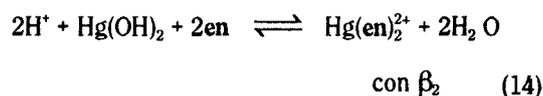
De las figuras 1 y 2 se observa que, a $\text{pH} = 13$, $\text{Hg}' \approx \text{Hg(OH)}_2$ y que $\text{en}' \approx \text{en}$.

Ahora bien, para saber si a $\text{pen}' = 2$ predomina la especie Hg' o la especie $\text{Hg}(\text{en})'_2$ debe usarse el equilibrio generalizado a primer orden

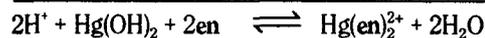
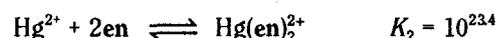
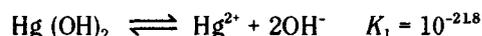


$K_{\text{Hg}(\text{en})'_2}^{2\text{en}'}$ es la constante condicional de formación global de la especie $\text{Hg}(\text{en})'_2$ y sólo depende del pH (a temperatura, presión y fuerza iónica constantes).

En este caso, el equilibrio representativo del equilibrio generalizado (13) es



donde β_2 es obtenida de la siguiente forma, usando la ley de Hess



$$\beta_2 = K_1 K_2 K_3 = 10^{29.6}$$

y por definición de constante condicional para el equilibrio representativo (González y Rojas, 1989a, 1989b)

$$\beta_2' = 10^{29.6} [\text{H}^+]^2 = \frac{[\text{Hg}(\text{en})_2^{2+}]}{[\text{Hg(OH)}_2][\text{en}]^2} = 10^{29.6} (10^{-13})^2 = 10^{3.6} \quad (15)$$

De esta $\beta_2' \approx K_{\text{Hg}(\text{en})'_2}^{2\text{en}'}$, se pueden construir los diagramas de distribución y de zonas de predominio de las especies de Hg'' , a $\text{pH} = 13$, mostrados en la figura 3. De ahí se concluye que $\text{Hg}'' \approx \text{Hg(OH)}_2$, a $\text{pen}' = 2$ y $\text{pH} = 13$. Esto demuestra que la hipótesis planteada en el problema es incorrecta.

Por lo tanto, el equilibrio de solubilidad representativo del óxido mercúrico a $\text{pen}' = 2$ y $\text{pH} = 13$ es:

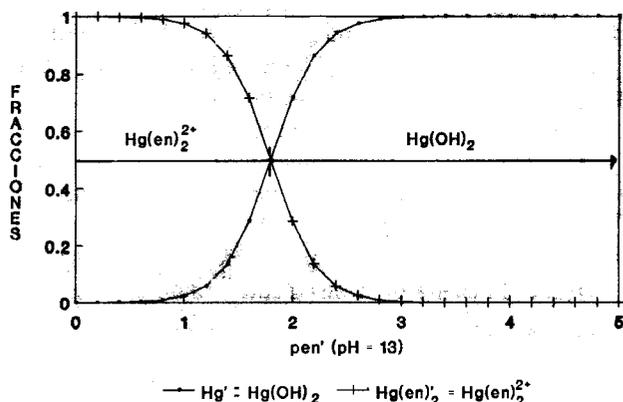
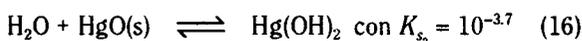


Figura 3. Diagramas de distribución y de zonas de predominio de las especies del Hg' en función de pen' a pH = 13.



El valor de la K_{s_2} se obtiene a partir de la ley de Hess.

De esta forma, la solubilidad del óxido mercúrico es

$$s \approx [\text{Hg(OH)}_2] = 10^{-3.7} \text{ M} = 2.0(10^{-4}) \text{ M.}$$

Por lo tanto, se puede formular la

□ RESPUESTA 2

La solubilidad del óxido mercúrico a pen' = 2.0 y pH = 13 es: $s \approx [\text{Hg(OH)}_2] = 2.0(10^{-4}) \text{ M.}$

DISCUSIÓN DE LA RESPUESTA 2

La respuesta 2 usa un método de solución más completo y general que la respuesta 1, y durante el procedimiento de solución se ha demostrado que la hipótesis planteada en el problema (que señala que la especie Hg(en)_2^{2+} es la más importante en el sistema) es falsa, puesto que a pH = 13 y pen' = 2 predomina la especie Hg(OH)_2 .

Sin embargo, la figura 3 demuestra que la concentración de Hg(en)_2^{2+} no es despreciable en el sistema.

Esto implica que la hipótesis (implícita) de las respuestas 1 y 2, de que el establecimiento de un solo equilibrio representativo basta para describir el estado de equilibrio termodinámico del sistema, no es correcta.

Entonces, hay que considerar la solubilidad del óxido mercúrico de la siguiente forma:

$$s = [\text{Hg}^{2+}] + [\text{HgOH}^+] + [\text{Hg(OH)}_2] + [\text{Hg(OH)}_3] + [\text{Hg(en)}_2^{2+}] \quad (17)$$

y de acuerdo con las figuras 2 y 3

$$s \approx [\text{Hg(OH)}_2] + [\text{Hg(en)}_2^{2+}]$$

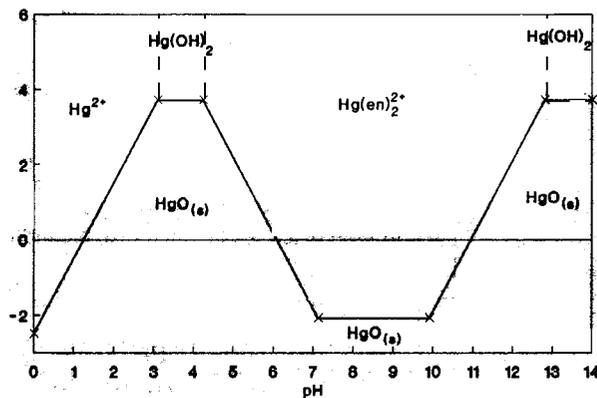


Figura 4. Diagrama de existencia-predominio de las especies solubles e insolubles del Hg', a pen' = 2, en función del pH. La línea es $-\log(s)$ del HgO(s) .

SOLUCIÓN 3

El método de especies generalizadas y coeficientes de complejación.

Las especies generalizadas definidas en la fusión de los métodos de Charlot (1967) y Ringbom (1979) (Rojas-Hernández *et al.*, 1986, 1991, 1992) — ecuaciones (10) y (11)— es todavía aplicable sin la aproximación de especies predominantes.

De esta forma

$$\begin{aligned} [\text{Hg}'] &= [\text{Hg}'] + [\text{Hg(en)}_2] = \\ &= [\text{Hg}'] (1 + K_{\text{Hg(en)}_2}^{2en'} [\text{en}']^2) = \\ &= [\text{Hg}'] \alpha_{\text{Hg(en)'}} \end{aligned} \quad (18)$$

$\alpha_{\text{Hg(en)'}}$ es el coeficiente de complejación de Hg' dependiente de en'. Esto se observa a partir de la ecuación (13):

$$K_{\text{Hg(en)}_2}^{2en'} = \frac{[\text{Hg(en)}_2]}{[\text{Hg}'] [\text{en}']^2}$$

Por otra parte,

$$\begin{aligned} [\text{Hg}'] &= [\text{Hg}^{2+}] + [\text{HgOH}^+] + [\text{Hg(OH)}_2] + [\text{Hg(OH)}_3] \\ &= [\text{Hg}^{2+}] (1 + 10^{10.6} [\text{OH}^-] + \\ &\quad + 10^{21.8} [\text{OH}^-]^2 + 10^{20.9} [\text{OH}^-]^3) = \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} [\text{en}'] &= [\text{en}] + [\text{Hen}^+] + [\text{H}_2\text{en}^{2+}] = \\ &= [\text{en}] (1 + 10^{9.91} [\text{H}^+] + 10^{17.04} [\text{H}^+]^2) = \end{aligned} \quad (20)$$

$$[\text{Hg(en)}_2] = [\text{Hg(en)}_2^{2+}] \quad (21)$$

dependiente de OH^- y $\alpha_{\text{en(H)}}$ es el coeficiente de complejación de **en** dependiente de H^+ .

Del equilibrio generalizado de solubilidad (12) y de las ecuaciones (18) y (19)

$$[\text{Hg}^{2+}]_{\text{sat}} = [\text{Hg}^{2+}]_{\text{sat}} \alpha_{\text{Hg(OH)}} \alpha_{\text{Hg(en)'}} = K_{\text{Hg}^{2+}(\text{s})} = s \quad (22)$$

Hay que notar que, en este caso, la solubilidad del óxido mercuríco ¡es la constante bicondicional de solubilidad del $\text{Hg}^{2+}(\text{s})$!

Como del equilibrio de solubilidad (1)

$$[\text{Hg}^{2+}]_{\text{sat}} = \frac{K_{\text{s}}}{[\text{OH}^-]^2} = \frac{10^{-25.5}}{(10^{-1})^2} = 10^{-23.5} \quad (23)$$

y, de las ecuaciones (18), (19) y (20), a $\text{pH} = 13$ y $\text{pen}' = 2$

$$\alpha_{\text{Hg(en)'}} = 1.392519, \alpha_{\text{Hg(OH)}} = 6.4(10^{19}) \text{ y} \\ \alpha_{\text{en(H)}} = 1.000812 \quad (24)$$

al sustituir estos valores en la ecuación (22) se obtiene que

$$s = 2.81(10^{-4}) \text{ M}$$

Puede darse entonces la

■ RESPUESTA 3

La solubilidad del óxido mercuríco a $\text{pen}' = 2$ y $\text{pH} = 13$ es: $s = 2.81(10^{-4}) \text{ M} \approx [\text{Hg(OH)}_2] + [\text{Hg(en)}_2^{2+}]$.

DISCUSIÓN DE LA RESPUESTA 3

Hay que notar que la solubilidad del óxido mercuríco dada según el método empleado en la respuesta 3 es más cercana a la respuesta 2 que a la respuesta 1, porque el equilibrio considerado en la respuesta 2 es el verdadero equilibrio representativo en el sistema.

Por otra parte, en la respuesta 3 — al igual que en las respuestas anteriores— no se ha considerado el efecto de la fuerza iónica sobre los coeficientes de actividad de las especies.

Así, para que la respuesta sea más cercana a la realidad debería tomarse en cuenta dicho efecto.

DISCUSIÓN GENERAL

Debe señalarse la poco feliz traducción de la expresión *foreign ligand* por “ligante foráneo” (respuesta 1). Es mucho más común traducirla por la expresión “ligante interferente” o por “especie parásita”.

También debe hacerse ver la superioridad de la notación de Ringbom con respecto a la notación utilizada por Ramette en cuanto a la función de formación. En realidad, las funciones de formación (Fo) utilizadas por Ramette son casi iguales a los coeficientes de complejación de Ringbom, pero la notación de Ringbom especifica la especie interferente y sobre qué especie ocurre la interferencia.

Puede parecer que la metodología de solución mostrada en las respuestas 2 y 3 es compleja, pero nuestra experiencia docente nos ha mostrado que los cursos de química analítica impartidos en la UAM-Iztapalapa dan los criterios y habilidades suficientes a los alumnos para poder aplicarla satisfactoriamente. Muestra de ello es que fueron los alumnos quienes brindaron la respuesta 2.

Por otra parte esta metodología no sólo permite abordar el problema en una forma puntual, tal como fue planteado por Ramette, sino que permite estudiar la solubilidad a diferentes condiciones impuestas; ejemplo de ello es la figura 4, construida a partir del equilibrio generalizado (12). [Rojas Hernández *et al.* (1992).]

La figura 4 también muestra que la hipótesis dada por Ramette, sobre la importancia relativa de Hg(en)_2^{2+} en el sistema, se cumple en un intervalo de pH bastante amplio, pero no en las condiciones que propone en su problema. La fuente de error se debe a no considerar los hidroxocomplejos del mercurio (Rojas y Ramírez, 1992).

CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta la solución de un problema considerando diferentes aproximaciones, lo cual nos permite comentar que:

En la solución 1, la respuesta es autoconsistente, pero la aproximación en la hipótesis (efectuada al no considerar los hidroxocomplejos) lleva a un resultado de solubilidad que es aproximadamente la cuarta parte

IV CONGRESO IBEROAMERICANO DE QUÍMICA INORGÁNICA

Y

X CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA INORGÁNICA

18 al 21 de mayo de 1993, Universidad de Guanajuato



INFORMES EN:



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
FACULTAD DE QUÍMICA
Noria Alta s/n
36050, Guanajuato, Gto.
FAX (473) 24 250
Tel. (473) 26 885

ACADEMIA MEXICANA DE
QUÍMICA INORGÁNICA, A.C.
Instituto de Química, UNAM
Circuito Exterior, C.U.
04510, México, D.F.
FAX 548 5448
Tel. 622 44 08

que el de la respuesta 3 (más cercana a la realidad).

En la solución 2, la respuesta también es autoconsistente y considera el efecto causado por los hidroxocomplejos. Sin embargo, la respuesta obtenida es un poco mayor a la mitad con respecto a la respuesta 3 (debido a la aproximación de los equilibrios representativos).

La solución 3 todavía presenta la omisión de los coeficientes de actividad, por lo cual se puede perfeccionar.

Sobre la respuesta 1 podemos señalar también que, si bien es autoconsistente, está dada sobre una hipótesis falsa. Así, la verdadera crítica que hacemos es sobre el planteamiento del problema.

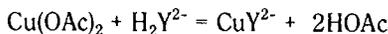
Consideramos que la respuesta 2 puede alcanzarse en el nivel licenciatura, pero debe cuidarse que el estudiante esté consciente de las aproximaciones que está considerando.

Creemos que la respuesta 3 puede ser presentada y debe ser comentada en el nivel licenciatura, pero sólo debe exigirse en el nivel posgrado.

Queremos recomendar que, al proponer una hipótesis (con el fin de simplificar el problema), los docentes consideren todas las posibilidades para escoger la más cercana a la realidad, y si no se toma en cuenta algún punto en especial, aclararlo, para evitar confusiones y para que el estudiante pueda evaluar la validez de su respuesta.

Para terminar, queremos comentar lo siguiente:

Ramette (1983) propone un experimento de laboratorio consistente en la valoración espectrofotométrica de cobre(II) con EDTA (H_4Y) a $pH = 5$, impuesto con un amortiguador de ácido acético/acetato de sodio ($HOAc/NaOAc$), y señala que la reacción de valoración que ocurre es:



Usted, lector, ¿qué opina?

REFERENCIAS

- Charlot, G. *Cours de chimie analytique générale*. Masson, Paris, 1967.
- González, I.; A. Rojas. *Contactos*, **3** [2] 61 (1988).
- González, I.; A. Rojas. *Contactos*, **3** [3] 39 (1989a).
- González, I.; A. Rojas. *Contactos*, **4** [1] 18 (1989b).
- Ramette, R.W. *Equilibrio y análisis químico*, Fondo Educativo Interamericano, México, 1983. pp. 559, 569, 663, 739, 742, 758 y 768.
- Ringbom, A. *Formación de complejos en química analítica*, Alhambra, Madrid, 1979.
- Rojas, A.; I. González. *Anal. Chim. Acta*, **187**, 279 (1986).
- Rojas Hernández, A. y M.T. Ramírez. *Educ. quim.*, **3**, [2] 106 (1992).
- Rojas-Hernández, A.; M.T. Ramírez, I. González, J.G. Ibáñez. *Anal. Chim. Acta*, **246**, 435 (1991).
- Rojas-Hernández, A.; M.T. Ramírez; I. González. *Some- tido para publicación en Anal. Chim. Acta* (1992).

ciencias
REVISTA DE DIFUSIÓN • No. 24 • ABRIL DE 1992 • 1,000 PÁGS.

EL PROGRESO CIENTÍFICO Y EL CAMBIO CONCEPTUAL EN LAS CIENCIAS

Sofía Kovalévskaia: una matemática rusa AMAN HERNEPEZQUE • Las dadas
CONTRAS MAL LUISA MARTÍNEZ Y MARÍA TERESA SALVETTI • La agrosilvicultura: una
estrategia campesina de sobrevivencia CARLOS BARRERA BASTIEN



GRUPO DE DIFUSIÓN • DEPARTAMENTO DE FÍSICA • FACULTAD DE CIENCIAS • UNAM

Revista Ciencias

SUSCRIPCIÓN ANUAL

Nacional	\$30,000
Latinoamérica	\$15 USD
Norteamérica y Europa	\$30 USD

Enviar giro postal a nombre de:

Facultad de Ciencias de la UNAM,
Administración de Correos N° 70,
Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

Dirigir correspondencia a:

Difusión de la Ciencia
Cubículos 320 y 321
Departamento de Física,
Facultad de Ciencias
UNAM, Circuito Exterior,
04510, México, D.F.
Teléfonos: 550 5215, Ext. 3924 y 550 5909
FAX 548 8186
Clave Bitnet: REVISTAC@UNAMVM1