

# Los productos también reaccionan. El concepto de reversibilidad

Glinda Irazoque Palazuelos,  
Mercè Izquierdo i Aymerich  
y  
Andoni Garritz Ruiz

## PRESENTACIÓN

El equilibrio químico es un concepto de importancia central en el aprendizaje de la Química porque estructura conceptos químicos fundamentales como el de reacción química. Sin embargo, su enseñanza-aprendizaje sigue siendo un gran desafío. La frase de Hildebrand (1946, p. 589) con la que Van Driel y Gräber (2002) inician su escrito hace alusión a este respecto:

Parece que no existe tópico en la Química introductoria universitaria que presente más dificultades a los estudiantes que el del equilibrio químico. Después de tratar durante más de 30 años de dar respuestas claras a sus preguntas he llegado a lograr gran simpatía con ellos, dándome cuenta de que el tema es inherentemente difícil.

Después de 70 años, los profesores seguimos considerando al equilibrio químico como uno de los conceptos más difíciles de enseñar y los estudiantes también lo tienen como uno de los más difíciles de aprender (Quílez, 2009).

Por lo anterior, el equilibrio químico es objeto de muchos estudios con objetivos muy diversos: conocer las dificultades de aprendizaje de los alumnos, los errores conceptuales, las concepciones alternativas, las explicaciones a estos errores, la superposición de los niveles de representación macroscópica y nanoscópica, etcétera. En su artículo Raviolo y Martínez (2003) hacen una revisión exhaustiva de los estudios empíricos reportados en la literatura, sobre las concepciones alternativas que presentan los estudiantes sobre este concepto.

Una buena parte de estos estudios (Raviolo y Martínez, 2005) indican que dos de las ideas antecedentes fundamentales para la enseñanza del equilibrio químico son la de reversibilidad y la de equilibrio dinámico. En este mismo tenor, Laugier y Dumon (2000) precisan en su investigación que para que los alumnos puedan construir el concepto de equilibrio químico es necesario, entre otras cosas, que:

- acepten la existencia de uno de los reactivos después de que el sistema cambió,
- entiendan que la flecha en la ecuación química no es sinónimo de la desaparición de todos los reactivos,
- sepan que la ecuación química se puede usar para representar situaciones experimentales diferentes,
- imaginen que un sistema químico en el estado de equilibrio es una mezcla de todas las sustancias químicas escritas en la ecuación química.

Un análisis de los puntos anteriores nos hace ver que están muy relacionados con los conceptos antes mencionados y los resultados de la investigación educativa insisten en la necesidad de tratarlos con mayor detenimiento que el que comúnmente se le da en los programas de estudio. De hecho, se debe tener presente que, generalmente, en bachillerato y en licenciatura, es común que el tema de cambio químico se ilustre sólo con reacciones irreversibles.

Por lo anterior, nos dimos a la tarea de construir una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre el concepto de reversibilidad, misma que presentamos en este capítulo.

## UBICACIÓN DEL TEMA Y CONTENIDOS CURRICULARES

El concepto de reversibilidad se estudia en paralelo con el de equilibrio químico y, en la Facultad de Química de la UNAM, este último forma parte de los temarios de las asignaturas de Química General II y Termodinámica Química;<sup>1</sup> pero sólo en el temario de Química General II se contempla explícitamente el concepto de reversibilidad, por lo que nos ubicaremos en este programa.

Esta asignatura pertenece al segundo semestre del tronco común, es decir, se imparte a todos los estudiantes de la Facultad.

Los objetivos que plantea el programa oficial de la asignatura de Química General II, respecto a este tema, son:

- Establecer las condiciones que determinan los aspectos macroscópicos de un sistema en equilibrio y predecir cualitativamente el sentido del desplazamiento de la condición de equilibrio.
- Aplicar los conocimientos del equilibrio químico en la predicción de reactivos y productos.
- Desarrollar habilidades conceptuales, procedimentales y actitudinales a través de la integración del trabajo teórico-práctico.
- A través del trabajo en el laboratorio se fomentará el trabajo en equipo, la resolución de problemas abiertos y el respeto al medio ambiente.

El estudio de este tema es la segunda unidad del temario de la asignatura y se le dedican 15 horas; cinco de teoría y diez de laboratorio. Los contenidos temáticos en los que se contempla el concepto de reversibilidad son:

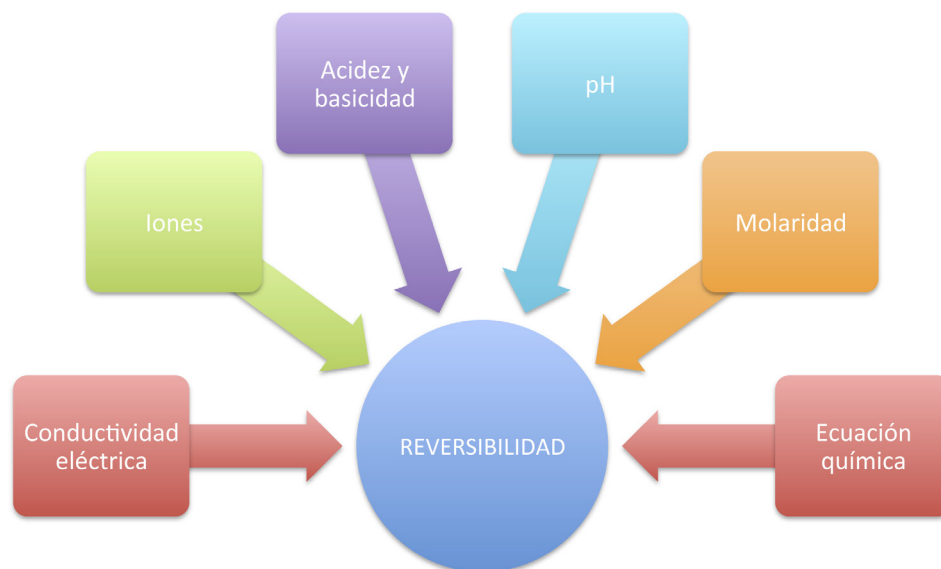
2. Equilibrio químico.
  - 2.1 Reacciones cuantitativas. Reacciones no cuantitativas y reversibilidad.
  - 2.4 Alteración de la condición de equilibrio. Aspectos cualitativos y tendencia al equilibrio químico. Temperatura, concentración, volumen, presión. Aspectos cuantitativos.

Si bien entendemos que la explicación de por qué el temario de Termodinámica Química no incluye explícitamente el estudio de reversibilidad, nos parece conveniente que, antes de iniciar el tema de equilibrio químico, se le dedique al menos una sesión para identificar si los alumnos lo utilizan en la construcción de argumentos relativos al equilibrio químico y si hacen un uso científicamente aceptable del mismo. En caso contrario, nuestra recomendación es que, también en esta asignatura, se utilice esta secuencia de enseñanza-aprendizaje.

<sup>1</sup> [www.quimica.unam.mx](http://www.quimica.unam.mx), recuperado el 2 de febrero de 2016.

## CONOCIMIENTOS PREVIOS

El desarrollo de la secuencia incluye actividades relacionadas con los temas de conductividad eléctrica, iones, concentración molar, pH, etcétera, por lo que es importante que los alumnos tengan los conocimientos básicos del ciclo anterior y las asignaturas antecedentes, en particular los que se indican en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Conocimientos conceptuales necesarios para el estudio del concepto de reversibilidad.

Como se observa, la reversibilidad es un concepto que para ser construido requiere de otros muy importantes, que también tienen asociadas serias dificultades de aprendizaje.

## APRENDIZAJES ESPERADOS

Se debe tomar en cuenta que este concepto es totalmente nuevo para el alumno, ya que está acostumbrado a apreciar cambios químicos irreversibles y totales en donde se observa alguna manifestación visible.

Con el desarrollo de esta secuencia de enseñanza-aprendizaje, esperamos que los alumnos identifiquen:

- Que las reacciones irreversibles son más bien la excepción; la mayoría de las reacciones nunca terminan.
- Que la reacción química es un sistema en el que están presentes todas las sustancias que aparecen en la ecuación química.
- Que los productos también reaccionan.
- Que la doble flecha nos indica dos cambios químicos diferentes en el mismo recipiente de reacción.
- Que la situación experimental que se representa por la ecuación química no es una copia del modelo científico.

## CONSIDERACIONES DIDÁCTICAS

Como ya mencionamos, el estudio de la reacción química quedaría incompleto sin el concepto de equilibrio químico y éste requiere del de reversibilidad para ser aprendido. En los primeros cursos de Química, la reacción química se presenta como un fenómeno que se acaba, siempre va de reactivos a productos y se puede seguir observando algún cambio: formación de un precipitado, cambio de color, formación de un gas, absorción de energía en forma de calor, etcétera (Van Driel y Gräber, *op. cit.*). En contraste, cuando se introduce el equilibrio químico, es necesario poner en evidencia la reversibilidad de las reacciones químicas y la realidad de que la gran mayoría de reacciones químicas no terminan (ver **Cuadro 1**).

**Cuadro 1.** Cambios requeridos en las concepciones de los alumnos acerca de reacción química asociadas con la introducción del equilibrio químico y el concepto de reversibilidad.<sup>2</sup>

Concepto de reacción química en cursos introductorios	Concepto de reacción química después de la introducción del equilibrio químico
Una reacción química se lleva a cabo sólo en una dirección; los reactivos se convierten en productos. Aunque los elementos químicos se conservan durante este proceso, los productos obtenidos no pueden “re-transformarse” directamente en los reactivos originales.	Muchas reacciones químicas son reversibles, es decir, la conversión de reactivos en productos puede invertirse por una intervención “simple”, como por ejemplo, calentar el recipiente de reacción o cambiar su volumen.
Todas las reacciones químicas llegan a su fin. Los reactivos se convierten totalmente, mientras estén presentes, de acuerdo con una relación de masas fija.	En un estado de equilibrio químico, una reacción química nunca termina, es decir, todos los reactivos y productos están presentes en el sistema en equilibrio.
Las reacciones químicas están asociadas con cambios macroscópicos, que pueden ser observados directamente; cambios de color, etcétera, o con la ayuda de un instrumento específico: cambio de punto de fusión.	En un sistema en equilibrio químico, todas las propiedades macroscópicas son constantes. A pesar de que se están llevando a cabo simultáneamente dos reacciones opuestas a la misma velocidad; los efectos macroscópicos observables se cancelan entre sí. Por lo tanto, el equilibrio químico es un proceso dinámico.

Sin un entendimiento del concepto de reversibilidad, los alumnos no podrán construir el concepto de equilibrio químico y, en consecuencia, no lograrán formular explicaciones a fenómenos tan importantes como la formación de estalactitas y estalagmitas, la formación de corales, el adelgazamiento de la capa de ozono y el mal de altura, entre otros.

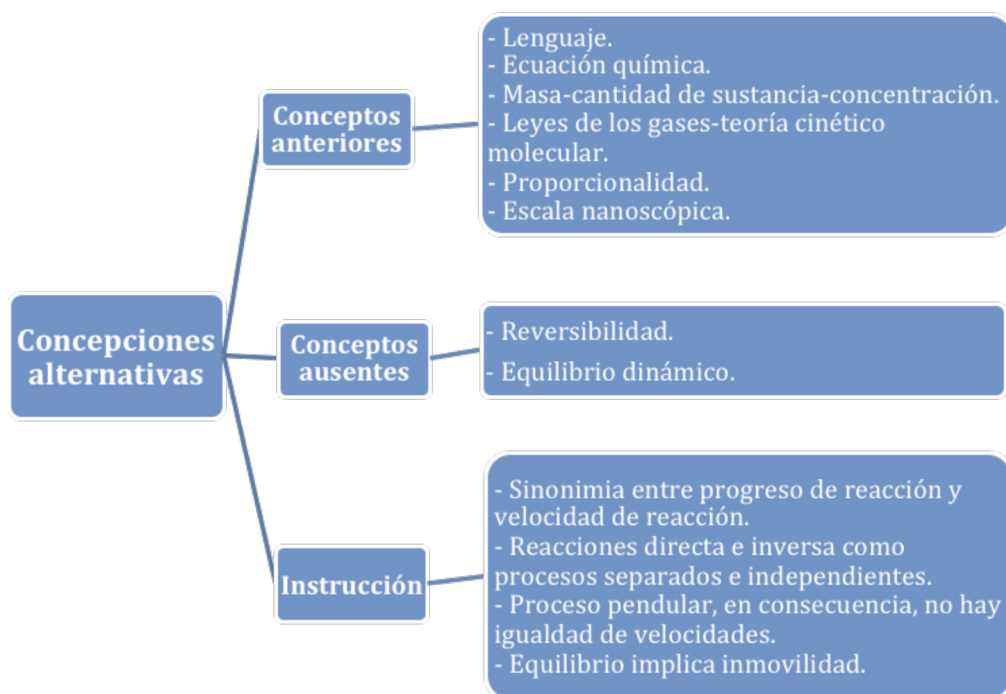
<sup>2</sup> Adaptado de Van Driel y Gräber (2002), p. 277.

## Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje

La investigación educativa menciona que, a diferencia de otros temas del currículo, una parte importante de las concepciones alternativas relativas al equilibrio químico se generan durante la instrucción y otras se heredan del aprendizaje de los conceptos antecedentes.

Los trabajos de investigación sobre enseñanza y aprendizaje del equilibrio químico (Wheeler y Kass, 1978; Quílez, 1995 y 2002; Raviolo y Martínez, 2003; Irazoque, 2009) ponen de manifiesto que este tema es uno de los que presentan más dificultad desde el punto de vista didáctico y reflejan una clara coincidencia en cuáles son los puntos de mayor conflicto.

Por la importancia conceptual del tema, la literatura es abundante en trabajos de investigación sobre las concepciones alternativas que presentan los alumnos de bachillerato y licenciatura al respecto. Huerta (2008) realiza un estudio exhaustivo de estas investigaciones y las clasifica en las que se heredan de la enseñanza de conceptos antecedentes, las que se generan por falta de los conocimientos conceptuales necesarios y las que se generan durante la instrucción. En la **Figura 2**, presentamos una selección de las que consideramos más importantes de tener en cuenta para el aprendizaje del concepto de reversibilidad, tema de esta propuesta:



**Figura 2.** Concepciones alternativas importantes de considerar en el aprendizaje del concepto de reversibilidad.

Como puede observarse, además de las dificultades heredadas del aprendizaje de los conceptos antecedentes, son muy importantes las relativas a las características de este estado termodinámico: sistema cerrado, proceso reversible, equilibrio dinámico, simultaneidad de procesos, etc.

Las investigaciones sobre el tema (Rocha, *et al.*, 2000; Quílez y Solaz, 1995) coinciden en que el origen de varias de las concepciones alternativas mencionadas arriba, está relacionado, entre otros factores, con:

- a) La experiencia, casi nula que los alumnos poseen en el trabajo con reacciones químicas reversibles.

- b) La importancia dada (en clase y en los libros de texto) a los cálculos estequiométricos, que ponen énfasis en los coeficientes de la ecuación química.
- c) La utilización de analogías para explicar el equilibrio por parte de los docentes y de los libros de texto.

Por lo anterior, es necesario un replanteamiento a fondo de la forma en que se enseña tradicionalmente el concepto de equilibrio químico y darle relevancia al aprendizaje de los conceptos antecedentes: reversibilidad y equilibrio dinámico, muchas veces desconocidos para los alumnos al entrar a la universidad. Se recomienda también asegurarse de que los estudiantes hayan construido una caracterización científicamente aceptable del equilibrio químico antes de introducir situaciones que lo perturben y el Principio de LeChatelier.

## Algunas recomendaciones didácticas

Por lo general, el tema de reversibilidad se enseña inmediatamente antes de introducir el concepto de equilibrio químico, sin dar suficiente tiempo a los alumnos de que lo “acomoden” y lo utilicen en la construcción de explicaciones científicas de situaciones que les interesan. Como éste es uno de los requisitos fundamentales para el aprendizaje del equilibrio químico, sugerimos que a lo largo de toda la secuencia de enseñanza-aprendizaje:

- Se tenga presente la dificultad que tienen los alumnos para comprender que existen dos reacciones distintas en un mismo sistema.
- Se haga hincapié en el análisis sistémico de las reacciones químicas; sistemas cerrados, coexistencia de reactivos y productos y simultaneidad de procesos.
- Se representen simbólicamente los sistemas estudiados y se analice la representación con los alumnos.

Esta última idea la estudian Bradley, Gerrans y Long (1990, en Raviolo y Martínez (2003)), quienes afirman que los alumnos que mantienen un modelo nanoscópico inadecuado de la reacción química, pueden sostener concepciones alternativas, como considerar independientes las direcciones directa e inversa de la reacción.

Como la reversibilidad de las reacciones no se “ve”, es necesario ponerla en evidencia. La construcción de este concepto resultará de muchas observaciones, experimentos e inferencias, que si no se presentan en un contexto adecuado y con las “reglas del juego” claras para los alumnos, no les será significativo y terminarán memorizando y adivinando lo que el profesor desea escuchar.

Por lo anterior, a lo largo del conjunto de actividades de esta secuencia, le sugerimos permita que los alumnos construyan sus propias explicaciones de lo que observan en cada uno de los experimentos.

Haga todos los experimentos antes de presentarlos frente al grupo y tenga el material necesario preparado para que los alumnos realicen las actividades con éxito.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

Cada una de las actividades que incluye la secuencia tiene propósitos específicos. Se pretende que los estudiantes logren construir el concepto de reversibilidad con base en argumentos macroscópicos (fenomenológicos), y se propone propiciar el desarrollo de habilidades científicas como la observación, la experimentación, la construcción de explicaciones, la construcción de modelos, etcétera. En todas las sesiones, permita que los alumnos expresen sus ideas y arriben a conclusiones ayudándoles a construir argumentos en función de lo estudiado hasta entonces y aproveche la oportunidad de promover su capacidad argumentativa.

Para darle mayor significancia al estudio de la reversibilidad rumbo a la construcción del concepto de equilibrio químico, elegimos iniciar con una actividad de contextualización sobre el estudio cualitativo del comportamiento de las proteínas en función del valor del pH del medio en el que se encuentran, hecho observado ya por la mayoría de los estudiantes. La secuencia inicia con una actividad que tiene por objeto que los estudiantes recuperen sus conocimientos del tema, asocien la estructura química con las condiciones ambientales y construyan explicaciones con argumentos científicos de lo que han observado en casa.

En la segunda actividad, proponemos que los estudiantes se involucren en una actividad experimental tipo POE (ver **Capítulo 3** de esta obra) en la que observen el cambio en el comportamiento de una proteína cuando va y viene de un medio ácido a otro básico. La conclusión a la que se espera que lleguen los alumnos es que los productos también reaccionan para producir más reactivos y viceversa, y que estos dos procesos son químicamente distintos y se llevan a cabo en el mismo recipiente de reacción, por lo que todas las especies químicas involucradas están presentes.

La tercera actividad es experimental, y la sugerimos tipo demostrativa por parte del profesor para promover, fundamentalmente, la importancia de una observación de calidad por parte de los alumnos en la construcción de argumentos científicos. Otro de los objetivos es poner en evidencia que la conductividad eléctrica es la variable que se inventó para poner en evidencia los iones presentes en una disolución. Se sugiere construir la idea de que son los iones presentes en la disolución los responsables del valor del pH y del grado de conductividad eléctrica de ésta.

La actividad cuatro es una actividad experimental complementaria a la tres, cuyo objetivo se centra en el análisis de la concentración de las disoluciones, la concentración iónica y la importancia fundamental del agua en los valores de estas variables que caracterizan a las disoluciones.

En la actividad cinco, que es de lápiz y papel, el profesor recupera las ideas generadas en las actividades anteriores y es aquí en donde el docente tendrá la oportunidad de construir una conceptualización sistémica del concepto de reversibilidad. Es importante ir paso a paso con los alumnos para el éxito de la propuesta. El objetivo central es que los estudiantes construyan explicaciones a lo que observan en función del análisis iónico de los cambios químicos que se observan en los experimentos.

La última actividad que proponemos es la de evaluar si las concepciones de los alumnos se han reacomodado en la explicación de los cambios que se observan cuando las proteínas cambian de un ambiente ácido a otro básico. Se sugiere además recuperar, en forma de portafolios, las respuestas de los estudiantes a los ejercicios propuestos hasta ahora, como evidencia del aprendizaje logrado por ellos.



## Actividad 1. La desnaturalización de las proteínas en función del valor del pH

*Objetivo.*

Revisar conceptos sobre las proteínas y su comportamiento en medios ácido y básico.

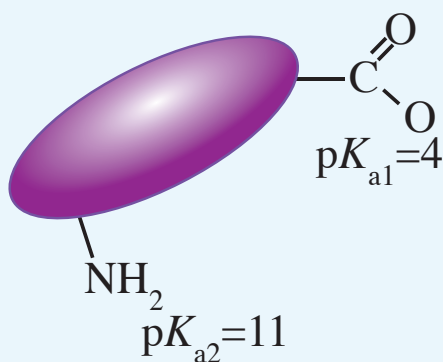
Se sugiere introducir esta actividad en los últimos minutos de la sesión de la clase anterior a la de introducción del concepto de reversibilidad.

Pida a los alumnos que revisen sus apuntes y la información que tengan a la mano sobre las proteínas. Que vean el video que se encuentra en la página:

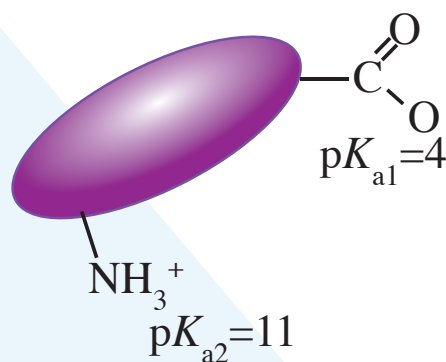
[http://www.youtube.com/watch?v=3IL\\_Df5ouUc&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=3IL_Df5ouUc&feature=related) (última fecha de consulta el 25 de enero de 2016).

Para dirigir la tarea, recuerde rápidamente con ellos que las proteínas son polímeros de aminoácidos, con grupos importantes para analizar en los extremos de la cadena, que se comportan de diferente forma en medios ácidos y básicos, generalmente, la solubilidad de la proteína depende del pH. Muéstreles imágenes como la siguiente:

Estructura de una proteína en función del valor de pH



Proteína en ambiente básico



Proteína en ambiente ácido

Pida a los alumnos que, con base en la revisión que hagan y a lo que observen en el video, hagan una maqueta para representar una proteína, con el material que tengan en casa; clips, pelotas de unicel, recortes de papel, etcétera.

Con el modelo de proteína que construyeron deben simular el comportamiento de las moléculas en medio básico y en medio ácido; tomar una foto de cada una de estas representaciones, pegarla en el cuadro que se encuentra en el **Anexo 1** y entregarla al profesor al inicio de la siguiente sesión.

## Actividad 2. Los reactivos reaccionan, ¿y los productos?

### Objetivo.

Poner en evidencia que los reactivos y productos forman un sistema termodinámico de reacción.

Ésta es una actividad experimental para que los alumnos la realicen en una sesión de dos horas.

Organice a los alumnos en equipos. Es recomendable que los integrantes no sean más de cuatro y que cada uno de ellos tenga un rol específico a lo largo de la actividad.

Antes de que realicen cada una de las partes del experimento, pida a los alumnos que escuchen con atención lo que harán y que verbalicen y acuerden con los miembros del equipo una predicción y la escriban en la parte correspondiente del cuadro del **Anexo 2**. Después de que realicen el experimento y observen con detenimiento y sentido crítico los cambios que se llevan a cabo, pida que construyan nuevamente explicaciones a lo observado y contrasten con las predicciones que escribieron. Finalmente, deben redactar una posible explicación de lo observado.

### Experimento

Dé a cada equipo un vaso de leche tibia, 100 mL de disolución acuosa de ácido acético, 0.1M y 100 mL de disolución acuosa de hidróxido de sodio, 0.1M, agitador.

**Primera parte.** A medio vaso de leche tibia agregarán, poco a poco y sin dejar de agitar, disolución acuosa de ácido acético, hasta que observen algún cambio. Probablemente, los alumnos ya hayan observado en casa esta situación y la expliquen como que la leche se “cortó”. Pídales que busquen explicar este hecho con base en argumentos científicos. Cuestiónelos también sobre los usos de esta sustancia. Pídales que anoten su predicción (**Anexo 2**).

**Segunda parte.** Agregar a ese mismo vaso de leche con disolución de ácido acético, también gota a gota y sin dejar de agitar, la disolución acuosa de hidróxido de sodio 0.1M, hasta que observen algún cambio. Nuevamente pida que construyan una predicción y que la anoten en el cuadro del **Anexo 2**.

Como a lo largo de toda la secuencia de actividades trabajaremos con disoluciones acuosas diluidas, haga observaciones al respecto y pregunte sobre cómo se prepara cada una de estas disoluciones para conseguir la concentración indicada. De esta forma podrá identificar si los alumnos tienen claros estos conceptos.

Después permita que realicen el experimento, observen los cambios con detenimiento. Si es necesario, que lo repitan. Y que contrasten con sus predicciones para arribar a una posible explicación del fenómeno.

Como se observa en el video anterior, la clara de huevo es también una proteína que se desnaturaliza al batirla para hacer merengues. Pida a los alumnos que respondan la siguiente pregunta y diseñen un experimento para contrastar su predicción con lo que observen al hacer el experimento.

¿Qué le pasará a la clara de huevo si la exponemos a un tratamiento similar al que hicieron con la leche?

Pregunte a los alumnos sobre el tipo de proteínas que contienen el huevo y la leche y pídale que investiguen sus estructuras químicas. El relacionar la estructura con los cambios observados es una de las habilidades científicas que deben desarrollarse.

Trabaje la siguiente pregunta como actividad de cierre antes de terminar la sesión:

¿Qué es lo que cambia cuando la proteína se encuentra en un medio ácido o en uno básico a la misma temperatura?

Es importante que los alumnos asuman al recipiente de reacción como un sistema termodinámico en el que coexisten reactivos y productos, en el que se efectúan dos procesos químicos diferentes, pero dependientes.

El experimento que se propone no es fácil, y por ello el objetivo no es llevarlo a sus últimas consecuencias y que los alumnos lo comprendan a la perfección. Se ha propuesto como una ocasión, a partir de un hecho cotidiano, de sembrar la necesidad y construir la posibilidad de formular explicaciones científicas. De observar que si se vuelven a formar los reactivos, entonces éstos no desaparecieron. Es ocasión también para reflexionar sobre cuáles son las especies que reaccionan y cuáles las que permanecen sin cambio, pero presentes e importantes.

Pida a los alumnos que, como tarea de preparación para la siguiente sesión, respondan el cuestionario que se encuentra en el **Anexo 2**.

### Actividad 3. La conductividad eléctrica y el pH

#### Objetivos.

Presentar a la conductividad eléctrica como una variable que tiene sentido porque pone en evidencia la existencia de los iones presentes en una disolución.

Que los alumnos identifiquen que el valor del pH de una disolución está relacionado con la concentración de algunos de los iones presentes y no con la concentración de la disolución.

En esta sesión es importante recuperar lo que los alumnos saben sobre la conductividad eléctrica y recordar junto con ellos que, entre más pura sea una muestra de agua, menos conductora será.

En función de qué tan lejos se encuentre del temario el tema de ácidos y bases, se recomienda iniciar la sesión con una lluvia de ideas acerca de los conceptos fundamentales: pH: cómo se mide, qué escala tiene, con qué está relacionado, reacciones de neutralización, ácidos fuertes y débiles, etc. También es necesario recuperar los conceptos de molaridad y ecuación química.

Recupere los conceptos trabajados en las sesiones anteriores y los que se pidieron en el cuestionario de tarea.

Ésta es una actividad experimental para realizarse en una sesión de una hora y le sugerimos hacerla en forma demostrativa en el salón de clases.

Llegue al salón de clase con un conductímetro, un pHmetro o indicador universal y con las siguientes disoluciones preparadas:

- Disolución acuosa de ácido clorhídrico, HCl, 0.1M
- Disolución acuosa de ácido acético, CH<sub>3</sub>COOH, 0.1M
- Disolución acuosa de hidróxido de sodio, NaOH, 0.1M
- Disolución acuosa de cloruro de sodio, NaCl, 0.1M
- Disolución acuosa de acetato de sodio, CH<sub>3</sub>COONa, 0.1M

Comente con los alumnos la concentración a la que se encuentran y el procedimiento que realizó para hacerlas. Recupere las ideas de la tarea que le acaban de entregar.

Dibuje en el pizarrón el siguiente cuadro y pídale a los alumnos que hagan lo mismo en su cuaderno (**Anexo 3**):

Sustancia(s)	Concentración	Conductividad	Valor del pH
Agua destilada			
HCl	0.1M		
CH <sub>3</sub> COOH	0.1M		
NaOH	0.1M		
CH <sub>3</sub> COONa	0.1M		
NaCl	0.1M		
Productos de la reacción: HCl + NaOH			
Productos de la reacción: CH <sub>3</sub> COOH + NaOH			

Mida la conductividad y el valor del pH del agua destilada, de las disoluciones de ácido clorhídrico, acético y sosa. Las de acetato y sal déjelas para más tarde. Anote los valores en el cuadro.

En un vaso de precipitados coloque 10 mL de disolución de ácido clorhídrico 0.1M, añada indicador universal y, con ayuda de una bureta, añada disolución acuosa de NaOH, 0.1M, gota a gota sin dejar de agitar, hasta que observen un cambio. Anoten los mL de sosa empleados y mida la conductividad eléctrica y el pH de la disolución resultante.

Pregunte a los alumnos:

¿Cuál es la ecuación química que describe la reacción que acabamos de hacer?

¿Qué especies químicas están presentes ahora en el vaso de precipitados?

Con base en sus respuestas, pídale que predigan cuál será el pH de la disolución resultante y si ésta conducirá la electricidad o no.

¿Cómo explican la relación que hay entre los volúmenes de sosa utilizada y el volumen inicial de la disolución?

Si repitiéramos el procedimiento con la disolución de ácido acético 0.1M. ¿cuántos mililitros de sosa creen que serían necesarios para observar el mismo cambio que se observó con el ácido clorhídrico? Promueva la construcción de respuestas con base en argumentos científicos.

Repitan el procedimiento con el ácido acético 0.1M y contrasten con las predicciones formuladas. Pregunte nuevamente a los alumnos acerca de la ecuación química, los iones presentes y el volumen de sosa utilizada hasta observar el mismo cambio que se tuvo con el HCl.

Nuevamente, con base en sus respuestas, pida que predigan cuál será el pH de la disolución final y si ésta conducirá o no la corriente eléctrica.

Realice las mediciones que restan y promueva la contrastación con sus propuestas para arribar a conclusiones.

Como no habrá tiempo suficiente para discutir los resultados obtenidos y analizar los datos en esta sesión, le sugerimos que como cierre de sesión deje a los alumnos para realizar en casa que, en el esquema del conductímetro que aparece en el **Anexo 3**, indiquen cuáles son los iones presentes y expliquen por qué prende el foco, para cada uno de los sistemas que se indican en el cuadro de datos. Como son ocho, le sugerimos que forme ocho equipos de trabajo y cada uno de ellos se encargue de uno de los sistemas. El objetivo es identificar posibles concepciones alternativas que puedan ser un estorbo en el análisis de los resultados que se hará la siguiente sesión.

## Actividad 4. La importancia de los iones en calidad y cantidad

*Objetivo.*

Trabajar con los alumnos la relación entre concentración iónica-concentración de la disolución-pH.

Comparar el comportamiento del ácido clorhídrico con el del ácido acético.

Recuperar los conceptos de ácidos fuertes y débiles, y su relación con los iones presentes en la disolución.

Haga una actividad de lluvia de ideas para recordar con los alumnos cómo cambia la concentración de una disolución cuando se realizan diluciones sucesivas.

De la misma forma, identifique de qué manera comprenden los alumnos la relación entre el valor del pH de las disoluciones y las concentraciones iónicas:  $[H_3O^+]$  y  $[OH^-]$

Ésta es una actividad experimental pensada para que los alumnos la realicen en una sesión de laboratorio.

Pida a los estudiantes que lean con detenimiento la hoja del **Anexo 4** y preparen todo lo que sea necesario para su trabajo en el laboratorio. Sugerimos que a lo largo de esta actividad el profesor sólo esté presente para aclarar dudas y proporcionar lo necesario para el trabajo de los alumnos.

Es importante que a lo largo del trabajo y la búsqueda de respuestas a las preguntas planteadas se trabajen a fondo las ecuaciones iónicas de los experimentos realizados y se ponga de relevancia la participación del agua en este tipo de procesos.

## Actividad 5. Pongamos todo junto

*Objetivo.*

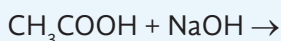
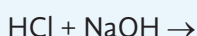
Analizar los resultados obtenidos en la sesión anterior para arribar a conclusiones acerca del comportamiento químico de los sistemas estudiados y de los iones presentes en cada uno de ellos.

Ésta es una actividad de lápiz y papel, para realizarse en una sesión de una hora en el salón de clase.

Inicie el trabajo recuperando las tareas y analizando los esquemas que le entregaron los alumnos.

Promoviendo la participación activa de los alumnos, analice en el pizarrón cada una de las ecuaciones químicas, expérelas en forma iónica y haga los balances de carga correspondientes.

Complete las siguientes ecuaciones químicas:



¿Cuál es la concentración de los productos?

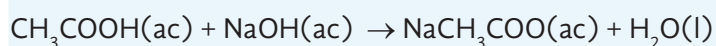
Represente las ecuaciones químicas anteriores, pero ahora en forma iónica.

Haga los balances de carga.

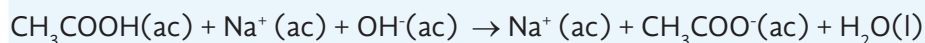
Con base en el análisis de las ecuaciones anteriores, analice los resultados obtenidos: conductividad, concentración y pH. Propicie la reflexión de los alumnos respecto a las diferentes especies químicas presentes en cada uno de los momentos de la experimentación y compare los diferentes comportamientos de las dos disoluciones ácidas.

### Algunas sugerencias didácticas:

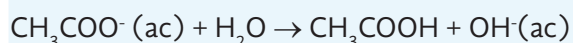
La reacción entre el ácido acético y la sosa es:



La expresión de la ecuación iónica es:



En la reacción del ácido acético con el hidróxido de sodio, el ion acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) es la base conjugada en el ácido acético, por ello reacciona con el agua de la siguiente manera:



La formación de iones  $\text{OH}^-$  hace que el valor del pH de la disolución resultante sea mayor a siete.

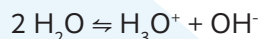
En cambio, el ion sodio ( $\text{Na}^+$ ), por ser el ácido conjugado en el hidróxido de sodio, no reacciona con el agua y permanece en disolución.

Para construir explicaciones a los cambios en los valores del pH observados, algunas preguntas que pueden servir de guía son:

- ¿Qué indica la diferencia en el valor del pH de estas mezclas?
- ¿Cuáles son las especies químicas que se encuentran en cada disolución?
- Con base en la concentración de cada una de las especies, expliquen el valor del pH de la disolución.
- ¿Qué explicación le dan a las diferencias de comportamiento que se observan entre los dos ácidos?
- ¿Por qué disminuye la conductividad eléctrica del agua destilada?

El análisis del agua reviste importancia fundamental, porque es la protagonista en escena, por ello se debe hacer un análisis particular del papel que juega en este tipo de sistemas químicos.

Hasta el agua más pura tiene una determinada conductividad eléctrica, que podemos medirla con aparatos de mayor precisión que los que se tienen comúnmente en los laboratorios escolares. Este hecho nos indica que el agua siempre está disociada en una proporción muy pequeña.



La medición de la conductividad eléctrica de agua extremadamente pura a 25° C indica que:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ M}$$

El producto de estas concentraciones es una relación muy conocida denominada *producto iónico del agua* y a 25° C, siempre es constante e igual a:

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = (10^{-7})(10^{-7}) = 10^{-14}$$

Como la cantidad de agua disociada es muy pequeña, casi toda se encuentra formando moléculas y se puede considerar que su concentración es constante e igual a:

$$[\text{H}_2\text{O}] = 55.6 \text{ M}$$

## Actividad 6. Evaluación

Como actividad de evaluación pida a los alumnos que regresen a la **Actividad 1** y reconstruyan la explicación del comportamiento de las proteínas, del huevo y de la leche, utilizando lo aprendido a lo largo de la secuencia de enseñanza-aprendizaje.

Con los ejercicios y tareas realizadas hasta el momento, se dispone ya de un portafolios que le servirá como evidencia del aprendizaje de los alumnos.



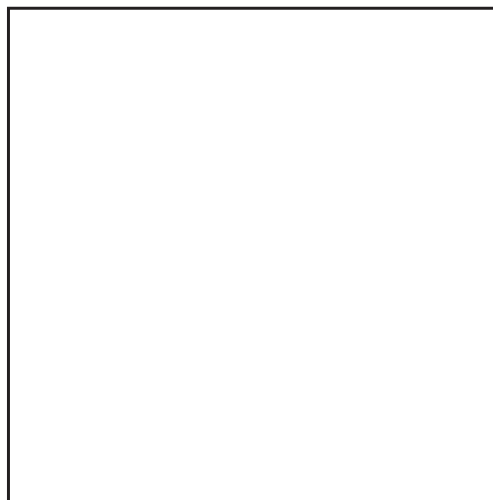
## REFERENCIAS

- Bradley, J. D., Gerrans, G. C. y Long, G. C., (1990). Views of some secondary school science teachers and student teachers about chemical equilibrium, *South Afr. J. Educ.*, 10(1), 3-1, En Raviolo, A. y Martínez A. M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas, *Educación Química*, 14(3), 60-66.
- Hildebrand, J. H. (1946). Catalyzing the approach to chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 23, 589-592.
- Huerta, M. P. (2008). *El equilibrio químico, una investigación de aula*, tesis de maestría, Facultad de Química, UNAM, México.
- Irazoque, G. (2009), *La explicación del pH sanguíneo con base en el modelo de equilibrio químico*, trabajo final del máster en Investigación en la Didáctica de las matemáticas y las ciencias, realizado bajo la asesoría de la Dra. Mercè Izquierdo Aymerich y presentado en la UAB el 17 de septiembre de 2009.
- Laugier, A. & Dumon, A. (2000). Travaux pratiques en chimie et representation de la reaction chimique par l'équation-bilan dans les registres macroscopique et microscopique: Une etude en classe de seconde (15-16 ans). *Chemistry Education: Research and Practice*, 1, 61-75. [<http://www.uoi.gr/cepr>]
- Quílez, J. y Solaz, J. J. (1995). Student's and teacher's missaplication of the Le Chatelier's principle: implications for teaching of chemical equilibrium, *Journal of Research in Science Teaching*, 32(9), 939-957.
- Quílez, J. (2002) From chemical forces to chemical rates: A Historical/Philosophical Foundation for the Teaching of Chemical Equilibrium, *Science and Education* 18, 1203-1251.
- Raviolo, A. y Martínez A. M. (2005). El origen de las dificultades y de las concepciones alternativas de los alumnos en relación con el equilibrio químico, *Educación Química*, 16 (número extraordinario), 159-166.
- Raviolo, A. y Martínez A. M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas, *Educación Química*, 14(3), 60-66.
- Rocha, A., Escandrolí, N., Domínguez, J. M. y García-Rodeja, E. (2000). Propuesta para la enseñanza del equilibrio químico, *Educación Química*, 11(3), 343-352.
- Van Driel, J. H. y Gräber, W. (2002). The Teaching and Learning of Chemical Equilibrium. En J. K. Gilbert *et al.* (eds.), *Chemical Education: Towards Research-Based Practice*, Kluwer: Dordrecht, 271-292.
- Wheeler, A. E. y Kass, H. (1978). Student's misconceptions in chemical equilibrium. *Science Education*, 62(2), 223-232.

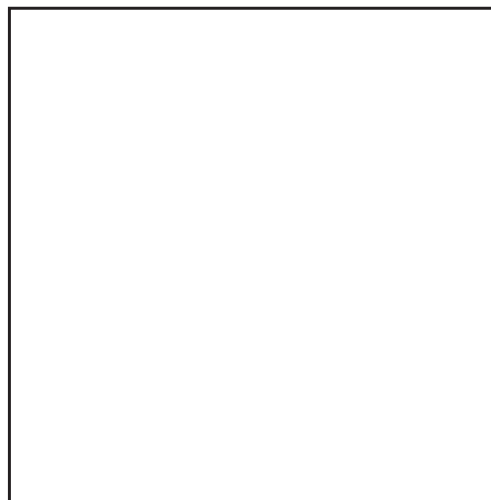
## Anexo 1. Material para la Actividad 1

Las proteínas en acción.

### MODELO DE UNA PROTEÍNA



Representación de una proteína en medio básico.



Representación de una proteína en medio ácido.

## Anexo 2. Material para la Actividad 2

Primera parte.		
Predicción	Observación	Explicación

Segunda parte.		
Predicción	Observación	Explicación

### Cuestionario de preparación de la **Actividad 3**.

Responde las siguientes preguntas y entrégalas a tu profesor antes de iniciar la siguiente sesión de clase.

- 1) El ácido muriático es una disolución acuosa de ácido clorhídrico, el vinagre es una disolución acuosa de ácido acético y el “quita cochambre” es una disolución acuosa (con espesantes y otros ingredientes) de hidróxido de sodio. Con base en el uso que se les da a estos productos, ¿podrías decir algo de su comportamiento químico?
- 2) En la primera actividad experimental que haremos, usaremos las siguientes disoluciones:
  - a) Ácido clorhídrico en agua con una concentración de 0.1M
  - b) Ácido acético en agua, con una concentración de 0.1M

Con esta información, ¿podrías mencionar algunas semejanzas y diferencias entre ellas?

	SEMEJANZAS	DIFERENCIAS
HCl, 0.1 M CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> H <sup>+</sup> , 0.1M		

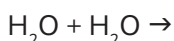
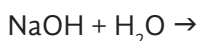
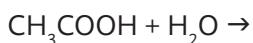
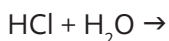
- Describe el procedimiento que seguirías para preparar una disolución de ácido acético, otra de ácido clorhídrico y otra de hidróxido de sodio, todas con una concentración 0.1M
- Usando los signos >, < e = compara las concentraciones de estos iones en cada uno de los tipos de disolución:

Tipo de disolución		
Ácidas	[H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ]	[OH <sup>-</sup> ]
Neutras	[H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ]	[OH <sup>-</sup> ]
Básicas	[H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ]	[OH <sup>-</sup> ]

- Si el pH está relacionado con la concentración de iones [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>], ¿cómo son las concentraciones de los iones [OH<sup>-</sup>] en cada una de las disoluciones del punto 3?
- ¿Cuál sería el pH de las disoluciones finales?

Disolución	Predicción del valor del pH	Explicación
HCl, 0.1 M		
CH <sub>3</sub> COOH, 0.1M		
NaOH, 0.1M		

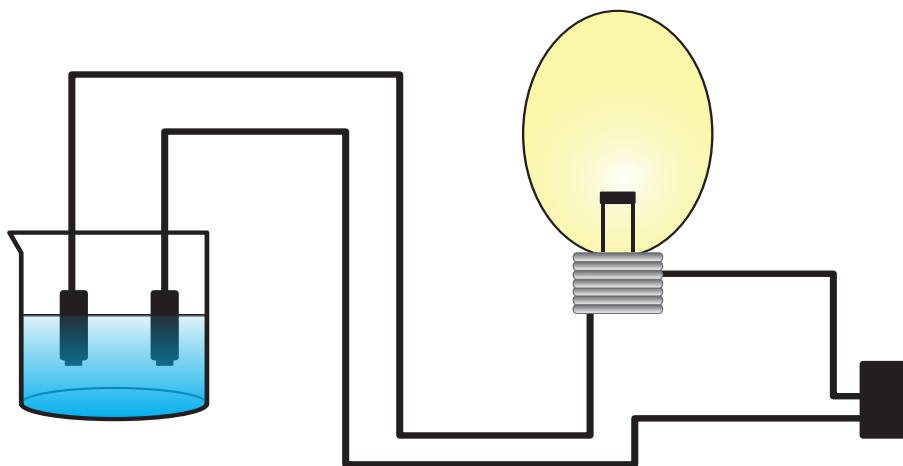
- Completen las siguientes ecuaciones químicas:



### Anexo 3. Material de los alumnos para la Actividad 3

Sustancias	Concentración	Conductividad	Valor del pH
Agua destilada			
HCl	0.1M		
CH <sub>3</sub> COOH	0.1M		
NaOH	0.1M		
CH <sub>3</sub> COONa	0.1M		
NaCl	0.1M		
Productos de la reacción: HCl + NaOH			
Productos de la reacción: CH <sub>3</sub> COOH + NaOH			

En el siguiente esquema indica cuáles son los iones presentes y por qué enciende el foco.



## Anexo 4. Material de los alumnos para la Actividad 4

Haciendo diluciones de la disolución 0.1M de ácido clorhídrico, preparen 10 mililitros de dos mezclas con concentración diferente y colóquenlas en vasos de precipitados. Preparen diluciones a las mismas concentraciones con el ácido acético.

	Concentración (M)	Predicción (mL)	Comprobación (mL)
Concentración A de HCl			
Concentración B de HCl			
Concentración A de CH <sub>3</sub> COOH			
Concentración B de CH <sub>3</sub> COOH			

Si agregaran NaOH, 0.1M, gota a gota, como en la actividad pasada, a cada una de las diluciones preparadas, ¿con cuántos mL de hidróxido creen que se observará el cambio de color?

Realicen la actividad y contrasten con su predicción. ¿Se cumplió? Expliquen sus observaciones una vez que discutan las posibles explicaciones entre ustedes.

¿Observan algún patrón de comportamiento entre la concentración de la disolución y el volumen de hidróxido de sodio empleado hasta observar el cambio de color? Descríbanlo e interprétenlo.

¿Qué explicación le dan a las diferencias que observan cuando trabajan con el ácido clorhídrico y con el hidróxido de sodio?

## ACTIVIDADES

Número	Nombre	Objetivo	Formato
1	La desnaturalización de las proteínas en función del valor del pH	Elaborar el modelo de una proteína y representar con él su comportamiento en función del pH.	No presencial, de lápiz y papel y haciendo uso de la información de la web.
2	Los reactivos reaccionan, ¿y los productos?	Poner en evidencia que los reactivos y productos forman un sistema termodinámico de reacción.	Presencial, experimental-POE y haciendo uso de la información de la web.
3	La conductividad eléctrica y el pH	Presentar a la conductividad eléctrica como una variable que tiene sentido porque pone en evidencia la existencia de los iones presentes en una disolución.  Que los alumnos identifiquen que el valor del pH de una disolución está relacionado con la concentración de algunos de los iones presentes y no con la concentración de la disolución.	Presencial, experimental-demostrativa.
4	La importancia de los iones en calidad y cantidad	Diferenciar y encontrar posibles relaciones entre los conceptos: concentración iónica, concentración de la disolución y valor del pH.	Presencial, experimental.
5	Pongamos todo junto	Analizar los resultados obtenidos en las sesiones anteriores para arribar a conclusiones acerca del comportamiento químico de los sistemas estudiados y de los iones presentes en cada uno de ellos.	Presencial, de lápiz y papel.
6	Evaluación	Evaluar si, después de realizar las actividades, la explicación de un fenómeno se construye con más y mejores argumentos científicos.	Presencial, teórica.