

Interpretar perturbaciones en sistemas en equilibrio químico a partir del cociente de reacción Q : una propuesta didáctica digital para Bachillerato

Interpreting perturbations in systems at chemical equilibrium through the re-action quotient Q : a digital teaching proposal for upper secondary chemistry

Rafael Cabrera Moscoso

IES Marqués de Comares (Lucena, Córdoba).

PALABRAS CLAVE:

Equilibrio químico
Cociente de reacción
Le Chatelier
Bachillerato
Simulación didáctica

RESUMEN:

La interpretación de las perturbaciones en sistemas en equilibrio químico suele abordarse en Bachillerato mediante reglas cualitativas asociadas al principio de Le Chatelier, lo que favorece respuestas memorísticas y errores de interpretación. Este trabajo presenta un recurso didáctico digital que sitúa el análisis del equilibrio en la comparación entre Q y K . El recurso combina un simulador, misiones de aplicación, un cuaderno de trabajo y actividades de consolidación y revisión. Su diseño aborda dificultades frecuentes relacionadas con presión y volumen, temperatura, gases inertes, catalizadores y cambios en la cantidad de sustancia gaseosa, $\Delta n(\text{gas})$. Así, el profesorado dispone de una secuencia para que el alumnado identifique qué magnitudes cambian, compare Q y K y justifique la evolución del sistema.

KEYWORDS:

Chemical equilibrium
Reaction quotient
Le Chatelier
Upper secondary education
Didactic simulation

ABSTRACT:

The interpretation of perturbations in systems at chemical equilibrium is often addressed in upper secondary education through qualitative rules associated with Le Chatelier's principle, which tends to foster memorised answers and misinterpretations. This paper presents a digital teaching resource that centres the analysis of perturbations on the comparison between Q and K . The resource combines a core simulator, application missions, a student workbook, and consolidation and review activities. Its design addresses difficulties related to pressure and volume, temperature, inert gases, catalysts, and changes in the amount of gaseous substance, $\Delta n(\text{gas})$. It provides teachers with a sequence in which students identify which quantities change, compare Q and K , and justify the evolution of the system.

Introducción

En Bachillerato, la interpretación de perturbaciones en sistemas en equilibrio químico suele apoyarse en explicaciones cualitativas resumidas en el principio de Le Chatelier. Como primera aproximación, este principio puede resultar útil, pero su aplicación automática favorece respuestas memorísticas y poco precisas, sobre todo cuando el alumnado debe identificar qué variable cambia, cuáles permanecen constantes y cómo queda el sistema inmediatamente después de una perturbación.^[1-9] En este punto aparecen con frecuencia confusiones entre presión y volumen, dificultades para interpretar el efecto de los gases inertes o del catalizador, y problemas para distinguir entre cambios en la constante de equilibrio y cambios en el cociente de reacción.

Diversas publicaciones sobre enseñanza del equilibrio químico han señalado que la dificultad no se reduce a recordar una regla, sino que también depende de cómo se representa el sistema perturbado. Muchos enunciados escolares exigen con-

trolar simultáneamente cantidad de sustancia, concentración, presión parcial, presión total, volumen y temperatura. Si estas variables no se separan con claridad, el razonamiento se reduce a una secuencia verbal del tipo "acción-reacción" y se pierde el análisis del estado real del sistema.^[1-9] No basta, por tanto, con predecir hacia dónde "se desplaza" una reacción; es necesario comprender qué magnitud ha cambiado, cuál es el estado instantáneo posterior a la perturbación y cómo evoluciona el sistema hasta un nuevo equilibrio.

El cociente de reacción permite concretar ese análisis al comparar el valor instantáneo de Q con la constante de equilibrio K , identificar si el sistema se encuentra en equilibrio y justificar el sentido de evolución. La comparación Q/K no funciona como otra regla verbal, porque exige explicitar el control de variables y distinguir entre perturbaciones que modifican Q , perturbaciones que modifican K y situaciones que no modifican ninguna de las dos magnitudes.^[10] En paralelo, la investigación sobre simulaciones interactivas ha mostrado que estas herramientas pueden favorecer la comprensión conceptual cuando

no se usan como demostraciones aisladas, sino dentro de secuencias con andamiaje, predicción, contraste y revisión.^[11-13]

Este trabajo presenta un recurso didáctico digital para 2º de Bachillerato que desplaza el foco desde el uso automático del principio de Le Chatelier hacia la comparación entre Q y K, el control de variables y la justificación razonada. El principio de Le Chatelier puede utilizarse como una primera orientación, mientras que la justificación se apoya en el control de variables y en la comparación entre Q y K.^[1-8]

Diseño y fundamentación didáctica del recurso

Dificultades de aprendizaje abordadas

Una dificultad persistente en la enseñanza del equilibrio químico es que buena parte del alumnado resuelve estas situaciones mediante reglas memorizadas, sin identificar qué cambia en el sistema ni cómo afecta esa perturbación a su evolución. Este modo de razonar suele apoyarse en versiones muy simplificadas del principio de Le Chatelier y puede conducir a respuestas aparentemente correctas, pero poco fundamentadas desde el punto de vista químico.^[1-9]

Entre los errores más frecuentes aparecen la interpretación del equilibrio como un estado estático, la confusión entre cambios de presión y de volumen, la confusión entre procesos a presión constante y a volumen constante, y el uso mecánico del signo de $\Delta n(\text{gas})$ como criterio suficiente para resolver cualquier caso. A ello se suman dificultades al analizar la adición de gases inertes, el papel del catalizador o la diferencia entre una modificación de Q y una modificación de K.^[1-7]

En el artículo de Quílez se relaciona una parte importante de estos errores con un control insuficiente de variables en problemas tradicionales. Por ejemplo, un cambio de volumen no permite inferir de forma directa que la concentración de una especie cambie en el mismo sentido que su cantidad de sustancia; la adición de un gas reactivo no produce el mismo análisis si se realiza a volumen constante o a presión constante; y la adición de un gas inerte exige distinguir si cambia o no el volumen disponible para las especies que participan en el equilibrio. En todos estos casos, el principio de Le Chatelier puede conducir a formulaciones ambiguas o incompletas si no se acompaña de un análisis explícito de Q y K.^[2-7, 10]

Estos problemas no son solo fallos puntuales del alumnado. También reflejan formas de enseñanza que, al simplificar el contenido, terminan ocultando elementos esenciales del razonamiento químico. El recurso se centra en esos puntos para que el alumnado identifique variables, compare Q y K y justifique la evolución del sistema en cada perturbación.

Diseño del simulador base

Un simulador de equilibrio químico resulta útil cuando hace visible un razonamiento que en el papel suele quedar fragmentado. El alumnado parte del equilibrio inicial, identifica la variable modificada y compara Q y K tras la perturbación.

El simulador asocia cada perturbación a una pregunta precisa sobre qué magnitud cambia de forma inmediata, si se modifica Q, si se modifica K o si no cambia ninguna de las dos, y qué evolución posterior recupera la condición de equilibrio. Así, el alumnado no aplica el principio de Le Chatelier como una regla verbal autosuficiente, sino que analiza el sistema antes de justificar su evolución. Existen precedentes de uso de herramientas informáticas para este mismo propósito, como el trabajo de Quílez y Castelló con hoja de cálculo,^[14] en este artículo se retoma ese problema didáctico desde un entorno web interactivo que incorpora retroalimentación inmediata, mi-

siones de aplicación contextualizadas, cuaderno de trabajo y actividades de consolidación.

El simulador se ha construido a partir de un conjunto de veintidós reacciones seleccionadas para cubrir situaciones representativas de equilibrio químico. Incluye ejemplos homogéneos y heterogéneos, reacciones endotérmicas y exotérmicas, y casos en los que la variación de la cantidad de sustancia gaseosa es positiva, negativa o nula. Este repertorio permite trabajar de forma explícita los factores que más problemas de interpretación generan en este bloque de contenidos.

La interfaz del simulador base muestra simultáneamente la ecuación del equilibrio, la comparación entre Q y K, la composición de la mezcla y las variables de control (Figura 1). Esta presentación numérica, simbólica y gráfica ayuda a evitar que el alumnado reduzca el análisis a una frase del tipo “el equilibrio se desplaza hacia...” sin identificar antes qué ha cambiado.

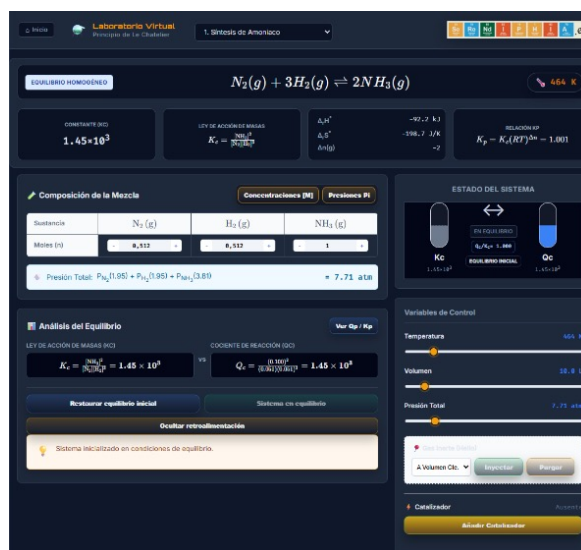


Figura 1. Interfaz del simulador base. La pantalla integra la ecuación química ajustada, la constante de equilibrio, el cociente de reacción, la composición de la mezcla y las variables de control que permiten analizar la respuesta del sistema ante distintas perturbaciones. Reproducido de Ref. [15].

El recurso permite modificar de forma controlada variables como la cantidad de sustancia, la concentración, la presión parcial y total, el volumen o la temperatura, e incorpora también situaciones específicas como la adición de gases inertes o la presencia de catalizadores. El alumnado debe identificar qué magnitudes cambian, cuáles permanecen constantes y cómo queda el sistema inmediatamente después de la perturbación.

Esta misma estructura se documenta en el material complementario mediante vídeos breves de uso del simulador. El cuerpo del artículo recoge la secuencia general, mientras que los vídeos suplementarios muestran con más detalle casos problemáticos descritos en la literatura, como cambio de volumen y concentración, adición de gas reactivo, variación de cantidades iniciales, adición de gas inerte y tratamiento singular de la temperatura.

En el caso de la temperatura, el simulador adopta una simplificación adecuada para 2º de Bachillerato y asume que la entalpía de reacción apenas varía en el intervalo considerado. Esta aproximación permite calcular la variación de K mediante la ecuación de Van't Hoff sin introducir una complejidad termodinámica excesiva. La temperatura se trata, por tanto, como una perturbación singular porque, a diferencia de los cambios

isotérmicos de concentración, presión o volumen, el cambio térmico modifica la constante de equilibrio. A volumen constante, la composición del sistema no cambia de forma instantánea, de modo que Q_c conserva inicialmente el valor asociado al equilibrio de partida; lo que cambia inmediatamente es K_c . La evolución posterior se interpreta comparando ese Q_c instantáneo con el nuevo valor de K_c hasta que el sistema alcanza un nuevo equilibrio, donde vuelve a cumplirse $Q_c = K_c$.

Los valores termodinámicos utilizados en las reacciones se revisaron para que la evolución calculada por el simulador fuera coherente con el comportamiento químico esperado.

Ecosistema didáctico del recurso

El recurso combina simulador, misiones, cuaderno de trabajo y actividades de consolidación. Cada componente cumple una función distinta dentro de la secuencia de aula. El simulador ayuda a interpretar perturbaciones, las misiones obligan a decidir, el cuaderno exige justificar por escrito y las actividades de consolidación permiten revisar lo aprendido. Esta organización coincide con trabajos que subrayan la importancia del andamiaje para relacionar representaciones, identificar patrones y construir explicaciones con sentido.^[11-13]

En la secuencia de aula, la retroalimentación del simulador reconstruye el razonamiento seguido tras cada perturbación. El mensaje identifica la magnitud modificada, la relación resultante entre Q y K y el sentido de evolución del sistema. Así, el alumnado puede contrastar su predicción con un modelo explícito de argumentación y transferirlo a situaciones nuevas.

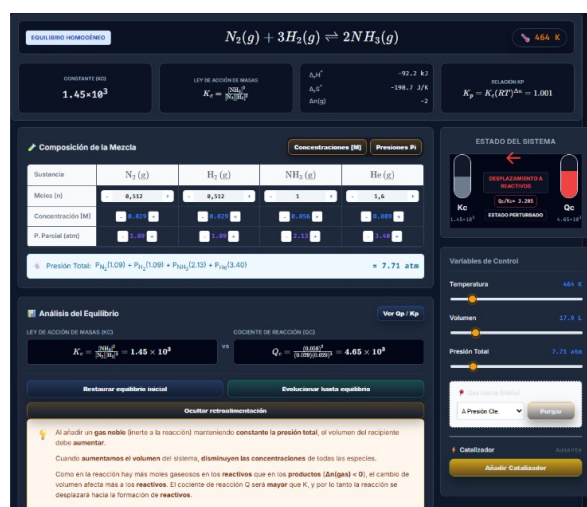


Figura 2. Adición de gas inerte a presión constante. El simulador muestra que, al mantener constante la presión total, la adición de helio aumenta el volumen del recipiente y diluye las especies que participan en el equilibrio. Como consecuencia, cambia Q_c mientras K_c permanece constante, y el sistema deja de estar en equilibrio. El caso interactivo puede consultarse con el simulador precargado. Reproducido de Ref. [16].

La secuencia de aula combina predicciones previas, contraste con la simulación y justificación escrita. Antes de modificar el sistema, el alumnado anticipa qué magnitud espera que cambie y cómo quedará la relación Q/K ; después, compara su hipótesis con la retroalimentación y revisa su explicación.

Las misiones de aplicación constituyen el nivel de trabajo más autónomo del recurso. En ellas, el alumnado deja de analizar perturbaciones aisladas y toma decisiones en escenarios inspirados en procesos químicos reales, como Haber-Bosch, la

producción de SO_3 , el horno de cal, la síntesis de metanol, el equilibrio $\text{N}_2\text{O}_4/\text{NO}_2$, el proceso Deacon o la producción de estireno. Estas tareas obligan a justificar compromisos entre equilibrio, velocidad, rendimiento, seguridad y coste, por lo que no siempre existe una única solución óptima. Las misiones están disponibles en la web del proyecto: <https://serendiphia.es/recursos/quimica/equilibrio/LeChat/misiones.html>.^[17]

El cuaderno de misiones, depositado también en Zenodo, recoge las tareas de decisión, justificación y revisión asociadas a estos escenarios. En él, el alumnado registra hipótesis, cambios introducidos, resultados observados y justificación de decisiones, de modo que la interacción con el simulador queda vinculada a una actividad de argumentación y revisión.

Las actividades de consolidación y revisión cierran el itinerario con un cuestionario organizado en seis bloques temáticos: cambios de concentración, volumen y presión, gas inerte, temperatura, reacciones heterogéneas y razonamiento de síntesis. Las preguntas no se limitan a pedir el sentido del desplazamiento del equilibrio; también exigen identificar qué magnitud cambia y establecer la relación resultante entre Q y K .

El recurso se ha utilizado en clase de 2º de Bachillerato durante el desarrollo del tema de equilibrio químico. De forma preliminar, se observó una valoración positiva de la propuesta y, especialmente, la aparición en pruebas objetivas de razonamientos en los que el alumnado recurría explícitamente a la comparación entre Q y K para justificar la evolución de sistemas perturbados.

Esta estructura hace posible que la comprensión del equilibrio químico no dependa solo de la intuición inicial del alumnado, sino de un proceso progresivo de explicitación, contraste y corrección del razonamiento.

Decisiones de diseño didáctico

El simulador organiza sus mensajes en torno a los aspectos del equilibrio químico que suelen generar más confusión en el aula. Cada perturbación se presenta como un caso que exige identificar qué magnitud cambia y bajo qué condiciones lo hace.

Una de esas dificultades es la confusión entre cambios de presión y cambios de volumen. Por ello, el recurso exige precisar qué variable se modifica, en qué condiciones se produce el cambio y si la adición de un gas inerte ocurre a volumen constante o a presión constante.

La temperatura se mantiene como caso singular, ya desarrollado en el apartado anterior, porque el cambio térmico modifica la constante de equilibrio y exige comparar Q con el nuevo valor de K .

El papel de $\Delta n(\text{gas})$ se trabaja como apoyo para interpretar cambios de volumen y presión, incluido el caso particular en que $\Delta n(\text{gas}) = 0$. Este parámetro ayuda a justificar por qué una perturbación afecta de manera distinta a reactivos y productos y cómo esa diferencia modifica la relación entre Q y K .

El catalizador se presenta como un factor cinético que modifica la velocidad de aproximación al equilibrio, no como una alteración de Q , de K o del estado de equilibrio.

Con estas decisiones, el alumnado no solo identifica un desplazamiento del equilibrio, sino que argumenta qué magnitudes intervienen, bajo qué condiciones cambian y cuándo dejan de servir las respuestas automáticas.

Conclusiones

El recurso organiza la interpretación de perturbaciones en sistemas en equilibrio químico mediante tres operaciones principales. El alumnado identifica qué magnitud cambia, compara Q y K y justifica la evolución posterior del sistema. Con ello, el foco

se desplaza desde la aplicación automática del principio de Le Chatelier hacia un análisis más explícito del estado del sistema y de las condiciones de la perturbación.

La integración entre simulador, misiones de aplicación, cuaderno de trabajo y actividades de consolidación conecta observación, toma de decisiones, argumentación y revisión de errores. Así, la interacción digital no queda reducida a exploración, sino que se incorpora a una secuencia de aula guiada.

En Bachillerato, este enfoque ofrece una vía para trabajar las perturbaciones del equilibrio con menos dependencia de reglas memorizadas y mayor atención al control de variables, al estado instantáneo del sistema y a la justificación química de la evolución posterior.

Declaración de uso de Inteligencia Artificial Generativa

Durante la preparación de este trabajo, el autor utilizó ChatGPT para revisar la claridad y la gramática del manuscrito, así como apoyo técnico en la programación y el desarrollo del simulador didáctico descrito.

El autor ha revisado íntegramente los resultados y asume la responsabilidad total sobre la veracidad científica, la coherencia de los datos termodinámicos y el contenido intelectual del artículo.

Material suplementario

Los anexos de este documento se encuentran disponibles en la web de la revista Anales de Química de la RSEQ.

Bibliografía

- [1] J. Quílez Pardo, J. J. Solaz Portolés, M. Castelló Hernández, V. Sanjosé López, *Ens. Cien.* **1993**, 11(3), 281-288, <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4506>.
- [2] J. Quílez, J. J. Solaz, *J. Res. Sci. Teach.* **1995**, 32(9), 939-957, <https://doi.org/10.1002/tea.3660320906>.
- [3] J. Quílez, V. Sanjosé, *Ens. Cien.* **1996**, 14(3), 381-390, <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4213>.
- [4] J. Quílez, *Infancia y Aprendizaje* **1997**, 20(78), 73-86, <https://doi.org/10.1174/021037097761403154>.
- [5] J. Quílez, *Educ. Quim.* **1997**, 8(1), 46-54, <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.1997.1.66639>.
- [6] J. Quílez, *Alambique* **1998**, 17, 105-111.
- [7] J. Quílez, *Ens. Cien.* **2006**, 24(2), 219-240, <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3802>.
- [8] L. Tyson, D. F. Treagust, R. B. Bucat, *J. Chem. Educ.* **1999**, 76(4), 554, <https://doi.org/10.1021/ed076p554>.
- [9] D. Cheung, *J. Chem. Educ.* **2009**, 86(4), 514, <https://doi.org/10.1021/ed086p514>.
- [10] J. Quílez, *An. Quím. RSEQ* **2025**, 121, 25-31, <https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2016>.
- [11] S. Ainsworth, *Learn. Instr.* **2006**, 16(3), 183-198, <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>.
- [12] C. E. Wieman, W. K. Adams, K. K. Perkins, *Science* **2008**, 322(5902), 682-683, <https://doi.org/10.1126/science.1161948>.
- [13] D. G. Herrington, S. M. Hilborn, E. N. Sielaff, R. D. Sweeder, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2022**, 23, 644-661, <https://doi.org/10.1039/D2RP00063F>.
- [14] J. Quílez, M. Castello, *Educ. Quim.* **1996**, 7, 50-54, <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.1996.1.66688>.
- [15] R. Cabrera, "Laboratorio Virtual: Equilibrio Homogéneo", disponible en <https://serendiphia.es/recursos/quimica/equilibrio/LeChat/index.html>, **2026** (consultado: 20/02/2026).
- [16] R. Cabrera, "Laboratorio Virtual: Caso precargado del artículo S8. He a presión constante", disponible en https://serendiphia.es/recursos/quimica/equilibrio/LeChat/index.html?case=s8_inerte_presion&v=20260513-textos, **2026** (consultado: 20/02/2026).
- [17] R. Cabrera, "Laboratorio Virtual: Centro de misiones", disponible en <https://serendiphia.es/recursos/quimica/equilibrio/LeChat/misiones.html>.



Rafael Cabrera Moscoso

IES Marqués de Comares (Lucena, Córdoba)

C-e: rcabreratic@gmail.com

ORCID: 0009-0009-2724-2767

Rafael Cabrera es profesor de Física y Química en el IES Marqués de Comares (Lucena, Córdoba). En su trabajo docente utiliza recursos digitales y secuencias didácticas para ayudar al alumnado de Bachillerato a comprender mejor la química. Entre sus intereses se encuentran la creación de simuladores interactivos, la clarificación conceptual y el diseño de materiales para el aula.