

EL PRINCIPIO DE LE CHATELIER Y LOS MODELOS DE REPRESENTACIÓN

Adriana Ortolani*; Claudia Falicoff*; Pablo Húmpola*; Héctor Odetti*

Resumen

El equilibrio químico gaseoso requiere de un modelo y de interpretaciones microscópicas que permitan explicar los cambios que ocurren en el mismo cuando se lo perturba. Resulta entonces importante investigar los niveles de comprensión de los estudiantes sobre el tema.

En esta primera etapa de nuestro estudio, nos proponemos indagar cómo interpretan los estudiantes, a nivel microscópico, la composición de un equilibrio en fase gaseosa cuando se lo perturba, con la finalidad de detectar las dificultades de los alumnos al relacionar este nivel de representación del equilibrio gaseoso y apreciar la comprensión del principio de Le Chatelier. Del análisis y discusión de los resultados obtenidos, se observa una inadecuada comprensión de este principio, en relación a determinadas situaciones de perturbación, cuando el mismo es estudiado a partir de la representación de un cambio químico empleando el nivel microscópico.

Palabras claves: gases, equilibrio químico, Le Chatelier, modelos.

Abstract

The gassy chemical balance requires of a model and of microscopic interpretations that allow to explain the changes that happen in the same one when it is perturbed. Then, it is important to investigate the levels of the student's understanding on the topic.

In this first stage of our study, we intend to investigate how the students interpret the composition of a balance in gassy phase when it is perturbed, at microscopic level, with the purpose of detecting the difficulties from the students when relating this level with the representation of the gassy balance and to appreciate the Le Chatelier's understanding principle. From the analysis and discussion of the obtained results, an inadequate understanding of this principle is observed in relation to certain interference situations when the same one is studied starting from the representation of a chemical change using the microscopic level.

Key words: gases, chemical balance, Le Chatelier's, models.

* Cátedra de Química Inorgánica, Facultad de Bioquímica y Cs. Biológicas, UNL Ciudad Universitaria Paraje El Pozo, CC 242, (3000) Santa Fe, Argentina. hodetti@fbcb.unl.edu.ar

Introducción

La química se ocupa de la interpretación de los cambios que operan en los sistemas materiales y para ello ha desarrollado una forma de pensar, de expresar e interpretar cada uno de los fenómenos. El tema equilibrio químico es fundamental en el aprendizaje de esta ciencia porque necesita, para su comprensión, del conocimiento de otros conceptos previos y completa el estudio de la reacción química.

Las reacciones químicas no terminan, prosiguen hasta alcanzar una mezcla de equilibrio con una energía libre mínima. Este estado se describe mediante una constante termodinámica característica de la reacción que depende de la presión y la temperatura.

La termodinámica es una ciencia macroscópica, pero desde un punto de vista metodológico, es aceptable explicar el comportamiento dinámico del equilibrio material a partir del mundo molecular, sin embargo, debe hacerse siempre hincapié en los valores de ΔG_r , la constante de equilibrio y el cociente de reacción. Cuando se desestabiliza un equilibrio por el agregado o la extracción de un reactivo, se modifica el valor del ΔG_r y el sistema evoluciona hasta que el ΔG_r vuelve a valor cero. La composición del sistema puede cambiar transitoriamente en respuesta a una modificación de la presión o la temperatura.

El químico francés Henri Le Chatelier enunció el principio general que lleva su nombre: *"Cuando se aplica un cambio a un sistema en equilibrio dinámico, el equilibrio tiende a ajustarse para reducir el efecto de ese cambio"* (Atkins y Jones, 2006). Es decir, si en un sistema en equilibrio se realiza un cambio en sus condiciones, el sistema se ajusta para restablecer el equilibrio de forma tal que parcialmente contrarresta el cambio impuesto.

Este principio debe enunciarse de manera muy cuidadosa y para que sea válido, se restringe a los cambios en las variables intensivas provocados por cambios infinitesimales en el sistema, seguidos de los correspondientes desplazamientos en el equilibrio (De Heer, J., 1957). Por otra parte, se debe tener en cuenta que los cambios reales son siempre finitos.

Para controlar el rendimiento de una reacción, se requiere conocer las bases termodinámicas y cómo la posición de equilibrio está afectada por condiciones como la temperatura y la presión.

Estos conceptos que pueden resultar sencillos para los profesores, no lo son tanto para los alumnos de primer año de la Universidad. El equilibrio químico es un tema

que requiere para su comprensión de la aplicación de otros conceptos previamente adquiridos como: sistemas materiales, reacción química, estequiometría, nociones de cinética y termoquímica. Por ello su enseñanza es un momento propicio para que los docentes integren o apliquen conceptos anteriores, aunque también representa un obstáculo cognitivo para los alumnos.

Varias investigaciones en Didáctica de las Ciencias han indagado las concepciones alternativas de los alumnos acerca del equilibrio químico (Raviolo y Martínez Aznar, 2003). Estos trabajos han permitido detectar una gran variedad de dificultades de aprendizaje, planteándose la necesidad de incorporar los resultados de la investigación, a la enseñanza (Hernando et al., 2003).

Si se tienen en cuenta los tres enfoques de investigación sobre el conocimiento de los alumnos planteados (Pintó, Aliberas y Gómez, 1996): concepciones alternativas, formas de razonamiento y modelos mentales, se observa que la mayoría de las investigaciones se encuadran en el primer enfoque, en particular el referido a la utilización del Principio de Le Chatelier para predecir la evolución de un sistema en equilibrio al ser perturbado. No existen muchos antecedentes en torno a los modelos mentales construidos por los estudiantes sobre el equilibrio químico.

Johnstone fue uno de los primeros autores en destacar la importancia de emplear los tres niveles de representación: macroscópico, microscópico y simbólico de forma relacionada para el estudio de un fenómeno (Johnstone, 1982).

La mayoría de los estudios que plantean esta cuestión, utilizan situaciones en las que se emplean representaciones microscópicas para indagar la comprensión conceptual, fundamentalmente a nivel corpuscular, de los sistemas materiales (Furió y Furió, 2000); (Benarroch, 2000); (Benarroch, 2001); (Gómez, Pozo y Gutiérrez, 2004); (Casado y Raviolo, 2005); (Gómez, 2005).

Factores, tanto conceptuales como procedimentales confluyen a la hora de establecer las posibles causas de las dificultades para interpretar cualitativamente, el principio de Le Chatelier (Quilez, 1997, 1998; Raviolo, 1998).

En el aprendizaje de este tema se tiende a asociar las cantidades de cada una de las especies en el equilibrio con la estequiometría de reacción (Rocha et al., 2000).

El equilibrio químico gaseoso requiere de un modelo y de interpretaciones microscópicas que permitan explicar los cambios que ocurren en el mismo cuando se lo perturba. Resulta entonces importante investigar los niveles de comprensión de los estudiantes sobre el tema.

En esta primera etapa de nuestro estudio, nos proponemos indagar cómo interpretan los estudiantes, a nivel microscópico, la composición de un equilibrio en fase gaseosa cuando se lo perturba (cambio de temperatura, de presión y la adición de reactivo).

Se debe considerar, a los efectos de la interpretación del equilibrio, un comportamiento ideal de los gases.

Metodología Aplicada a la Investigación

A los fines de nuestro trabajo se diseñó un test multi-representacional con proposiciones y gráficos sobre un equilibrio exotérmico de una mezcla homogénea en fase gaseosa. Las moléculas se han representado a nivel microscópico como esferas ordenadas según la geometría de la molécula. Cada esfera representa un átomo.

Se elaboró una pequeña carta explicativa inicial con el propósito de comunicarnos con los estudiantes encuestados, animarlos a responder y valorar su participación. También se tuvo en cuenta el aspecto visual del cuestionario, tratando de hacerlo fácil y atractivo con espacio abundante para preguntas y respuestas; claro y simple en el diseño.

Para cada ítem se dibujaron varios esquemas alusivos a: desplazamiento hacia los reactivos, aumento de producto, equilibrio inalterado y una opción representando moléculas de oxígeno gaseoso y átomos de carbono. Estas representaciones microscópicas fueron identificadas con distintas letras mayúsculas, con el fin de inducir a una elección completamente consciente.

En el Anexo se expone el modelo del test en el que se solicita a los alumnos el reconocimiento de cambios químicos a partir de representaciones con partículas, justificando la elección.

A continuación relatamos el orden y la interpretación adjudicada a cada recuadro:

- En el ítem a.: A aumento de reactivos; B desplazamiento hacia el producto (correcta); C equilibrio inalterado y D dos fases, gaseosa y sólida.
- En el ítem b.: A aumento de producto (correcta); B equilibrio inalterado; C desplazamiento hacia los reactivos y D dos fases, gaseosa y sólida.
- En el ítem c.: A equilibrio inalterado; B dos fases, gaseosa y sólida; C desplazamiento hacia el producto con exceso de oxígeno (correcta) y D aumento de reactivos.

El cuestionario se administró durante la tercera semana del segundo semestre de 2006, a 112 alumnos universitarios de las carreras de Bioquímica y Licenciatura en Biotecnología, de la asignatura Química Inorgánica. Estos estudiantes ya habían cursado Química General durante el primer semestre con una carga horaria de 8 horas semanales. Habían desarrollado, entre otros, los siguientes contenidos: sistemas materiales, estructura atómica, nomenclatura, estequiometría, equilibrios físicos y químicos, termodinámica de las reacciones químicas (energía libre y entalpía de la reacción), nociones de cinética, leyes de los gases, concentración de cantidad, y han trabajado para facilitar la comprensión de los temas con los tres modelos de representación. Además, contaron con libros de textos, tuvieron varias experiencias de laboratorio y clases de ejercitación y consulta.

El cuestionario fue validado inicialmente con un grupo de 42 alumnos que también cursaban la misma asignatura y que funcionó como grupo piloto.

El tiempo de realización del test fue aproximadamente de treinta minutos, y se realizó en un ambiente calmo y silencioso.

Para el análisis de los resultados se utilizaron los siguientes criterios:

- C (CORRECTA): selecciona bien el esquema de representación.
 - JB (Justifica bien)
 - JM (Justifica mal)
 - NJ (No justifica)
- I (INCORRECTA): selecciona mal el esquema de representación
- NC (NO CONTESTA)

En el procesamiento del material se aplicó la siguiente clave de corrección:

Ítem a. Disminuye la temperatura a presión constante.

CORRECTA: B

JUSTIFICACIÓN: La disminución de la temperatura de una reacción exotérmica favorece la formación del producto.

Las concentraciones cambiarán de forma tal, para parcialmente contrarrestar el cambio impuesto: un incremento en la temperatura. Así el sistema se ajusta para favorecer la reacción exotérmica.

Ítem b. Aumenta la presión a temperatura constante.

CORRECTA: A

JUSTIFICACIÓN: La compresión de una mezcla de reacción en el equilibrio tiende a conducir la reacción en la dirección que reduzca la cantidad de moléculas en fase gaseosa. En este ejemplo, favorece la formación de producto.

Las concentraciones cambiarán de forma tal, para parcialmente contrarrestar el cambio impuesto: un incremento en la presión. Así el sistema se ajusta para favorecer la reacción que produce un menor número de partículas gaseosas.

Ítem c. Aumenta la concentración de O_2 (g)

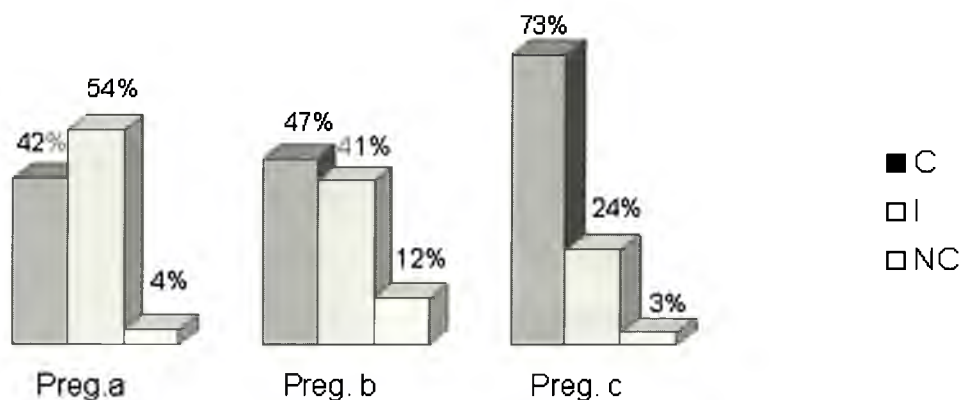
CORRECTA: C

JUSTIFICACIÓN: Cuando se añade un reactivo a una mezcla de reacción en el equilibrio, la reacción tiende a formar producto.

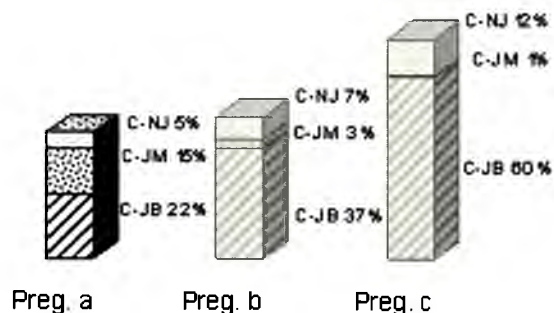
Resultados y Discusión

A continuación se presentan los datos obtenidos con la muestra analizada. En el procesamiento del material, según las dimensiones del procedimiento, se encontraron los siguientes resultados:

Porcentaje de Respuestas Correctas (C), Incorrectas (I) y No Contesta (NC) n=112

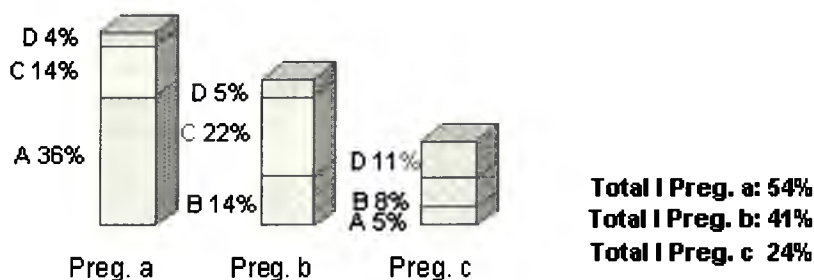


Porcentaje de Respuestas Correctas Bien Justificadas (C-JB), Mal Justificadas (C-MJ) y No Justificadas (C-NJ)



Total C Preg. a: 42%
Total C Preg. b: 47%
Total C Preg. c: 73%

Respuestas Incorrectas. Porcentaje de Esquemas Seleccionados (A,B, C y D)



Para el ítem a., donde se solicita que se analice qué ocurre con el equilibrio cuando disminuye la temperatura, la mayoría de los estudiantes (54%) selecciona una representación incorrecta. De éstas la opción más elegida es la A, la cual representa un desplazamiento del equilibrio hacia los reactivos.

En los que seleccionaron la representación correcta, un 22% justifica sus elecciones correctamente. Al analizar las justificaciones incorrectas encontramos falta de claridad, no coincide lo expresado con la representación seleccionada. Entre ellas podemos mencionar: *"cuando la temperatura disminuye es favorecida la reacción inversa"*. Otros, confunden el descenso de temperatura con el aumento o disminución de presión, hay quienes no consideran la perturbación o bien daría la impresión que no comprenden la consigna: *"disminuye la presión, se desplazará hacia los reactivos"*.

Para el ítem b., donde se solicita que se analice qué ocurre con el equilibrio cuando se aumenta la presión, la proporción de estudiantes que selecciona la representación correcta (47%) es ligeramente superior a los que eligen una opción incorrecta. Sólo justificaron bien el 37% del total. Las mal justificadas refieren a un desplazamiento del equilibrio hacia donde existe un mayor número de moles o bien una interpretación de la perturbación por asociación con otras variables del sistema. Utilizan un lenguaje ambiguo y confunden conceptos, por ejemplo la temperatura, tal como transcribimos a continuación: *"Se desplaza hacia los productos, un aumento de la presión genera una disminución de la temperatura"*.

De los que seleccionan una opción incorrecta (41%), la más frecuente es la C que, representa un desplazamiento del equilibrio hacia los reactivos (mayor número de moléculas).

Analizando el ítem c., donde se considera el efecto que ejerce sobre el equilibrio un aumento de concentración de oxígeno, el número de respuestas correctas (73%)

es francamente superior a las incorrectas (24%) y en su mayoría son acompañadas de una justificación adecuada (60%). La gran parte de desaciertos se remiten a la opción D, que representa un desplazamiento del equilibrio hacia los reactivos.

En el contexto general del test, el porcentaje de respuestas no respondidas es bajo, sin embargo, en el ítem b) es del 12%.

Conclusiones:

La visión microscópica de los sistemas en equilibrio y su ajuste frente a perturbaciones, parece ayudar a la interpretación de aspectos tales como la composición del sistema en equilibrio, permitiendo así afrontar una de las dificultades más comunes citadas en la introducción.

Resulta interesante observar que un gran número de alumnos reconoce el Principio de Le Chatelier, seleccionando correctamente la representación microscópica, pero ésta no es compatible con la justificación.

Las respuestas revelan una mayor comprensión a nivel microscópico, del desplazamiento y del nuevo estado de equilibrio en el caso del aumento de la concentración de un reactivo, posiblemente porque éste sea el ejemplo más empleado al explicar el Principio de Le Chatelier.

En los otros ítems ocurre algo semejante. Donde se solicita el análisis sobre aspectos más abstractos del sistema, tales como la variación de presión y temperatura, existen dificultades en la elección de la representación y en la adecuada interpretación del principio. Esto exhibe la necesidad de afianzar evitando posibles interferencias en el estudio, la relación de conceptos termodinámicos tales como reacción exotérmica o endotérmica, variación de presión y temperatura y su relación con la concentración molar de un equilibrio en fase gaseosa.

Al analizar cuáles fueron las representaciones más elegidas en forma incorrecta, para todas las perturbaciones se encontró que seleccionaron la opción que plantea un desplazamiento hacia los reactivos. De las explicaciones suministradas por los alumnos puede inferirse una elección consciente de la figura y una justificación adaptada a la misma, aunque en contradicción con la interpretación del principio.

Por lo tanto, creemos necesario acompañar y asegurar el concepto que una reacción continúa, en su búsqueda continua de equilibrio. Dicho abordaje sería posible realizarlo con mayor número de ejemplificaciones tanto a nivel macro como microscópico, teniendo en cuenta la termodinámica del sistema.

Enseñar equilibrio químico, el principio de Le Chatelier y su interpretación implica un gran desafío. Es necesario diseñar recursos didácticos novedosos para superarlas. Nos proponemos la continuidad de este trabajo: fundamentar, planificar y diseñar actividades para la enseñanza de este tema que involucren la movilidad entre los diferentes niveles que representan una transformación química.

Bibliografía:

- Atkins, P.; Jones, L. *Principios de Química. Los caminos del descubrimiento*, Panamericana, Argentina, p. 348-353, 2006.
- Benarroch Benarroch, A. "El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia". *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), p. 235-246, 2000.
- Benarroch Benarroch, A. "Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia". *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), p. 123-134, 2001.
- Casado, G.; Raviolo, A. "Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación de una reacción química". *Universitas Scientiarum. Revista de la Facultad de Ciencias Pontificia Universidad Javeriana*. Vol. 10, p. 35-43, 2005.
- De Heer, J. "The Principle of Le Chatelier and Braun". *Journal of Chemical Education*, 34, 375-380, 1957.
- Furió Más, C.; Furió, C. "Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos". *Educación Química*, 11[3], p. 300-308, 2000.
- Gómez Crespo, M. A.; Pozo, J. I.; Gutiérrez Julián, M.S. "Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos". *Educación Química*, 15[3], p. 198-209, 2004.
- Gómez Crespo, M.A. "E.A.O. y enseñanza de los modelos microscópicos en química". *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra. VII Congreso, p. 1-4, 2005.
- Hernando, M.; Furió, C.; Hernández, J. y Calatayud, M. L. "Comprensión del equilibrio químico y dificultades en su aprendizaje". *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, p. 111-118, 2003.
- Johnstone, A.H.; MacDonald, J.J. y Webb, G. "Chemical equilibrium and its conceptual difficulties". *Education in Chemistry*, 14(6), p. 169-171, 1977.
- Johnstone, A.H. "Macro and microchemistry". *School Science Review*, 64, p. 377-379, 1982.
- Pintó, R.; Aliberas, J. y Gómez, R. "Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas". *Enseñanza de las Ciencias*, 14[2], p. 221-232, 1996.
- Quilez Pardo, J. "Superación de errores conceptuales del equilibrio químico mediante una metodología basada en el empleo exclusivo de la constante de equilibrio". *Educación Química*, 8[1], p. 46-54, 1997.
- Quilez Pardo, J. "Persistencia de errores conceptuales relacionados con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier". *Educación Química*, 9[6] p. 367-377, 1998.
- Raviolo, A.; Andrade-Gamboa, J. "Enseñar el principio de Le Chatelier: un sutil equilibrio". *Educación Química*, 9(1) p. 40-45, 1998.
- Raviolo, A.; Baumgartner, E.; Lastres, L. y Torres, N. "Logros y dificultades de alumnos universitarios en equilibrio químico: uso de un test con proposiciones". *Educación Química*, 12[1], p. 18-26, 2001.
- Raviolo, A.; Martínez Aznar, M. "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], p. 60-66, 2003.
- Rocha, A.; Scandroli, N.; Domínguez Castiñeiras, J.M.; García-Rodeja, E. "Propuesta para la enseñanza del equilibrio químico". *Educación Química*, 11[3], p. 343-352, 2000.

ANEXO

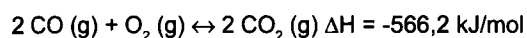
Estimado alumno:

Deseamos realizar un estudio acerca de los modelos de representación en la enseñanza y el aprendizaje de la química. Será muy valiosa tu colaboración, si decides participar en esta actividad.

MUCHAS GRACIAS.

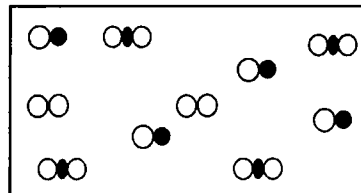
Docentes de Qca. Inorgánica

- 1) Considera la siguiente reacción a una presión y temperatura determinada:



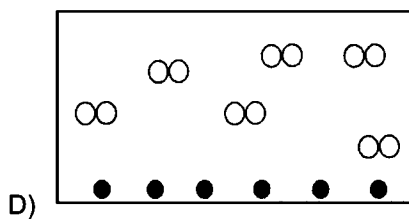
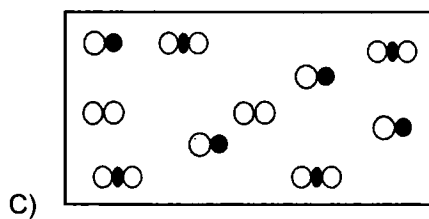
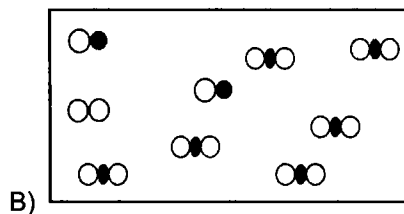
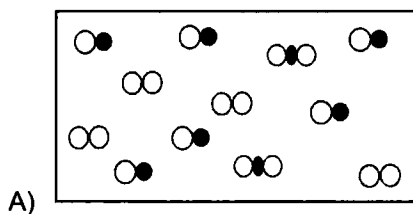
- 2) Observa el cuadro que representa el equilibrio, en él se dibujaron: moléculas de reactivos (el dióxígeno con dos esferas blancas, el monóxido de carbono

con una blanca y una negra) y el producto (dos esferas blancas y una negra representa una molécula de dióxido de carbono).



- 3) Recuerda el principio de Le Chatelier, aplícalo al sistema gaseoso anteriormente citado.
- 4) **Presta mucha atención y contesta:** ¿Cómo desplazará el sistema su posición de equilibrio, para contrarrestar el efecto de las siguientes perturbaciones realizadas sobre el mismo? En cada ítem elige sólo una opción de representación y justifica, con pocas palabras, cada una de tus respuestas.

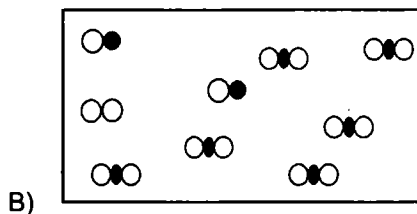
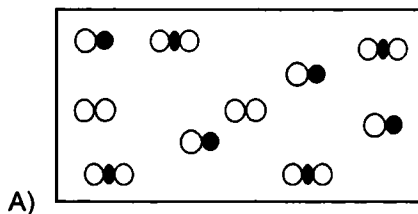
a. Disminuye la temperatura

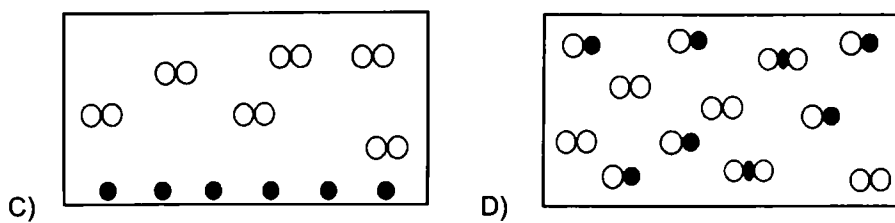


RESPUESTA CORRECTA:

JUSTIFICACIÓN:

b. Aumenta la presión

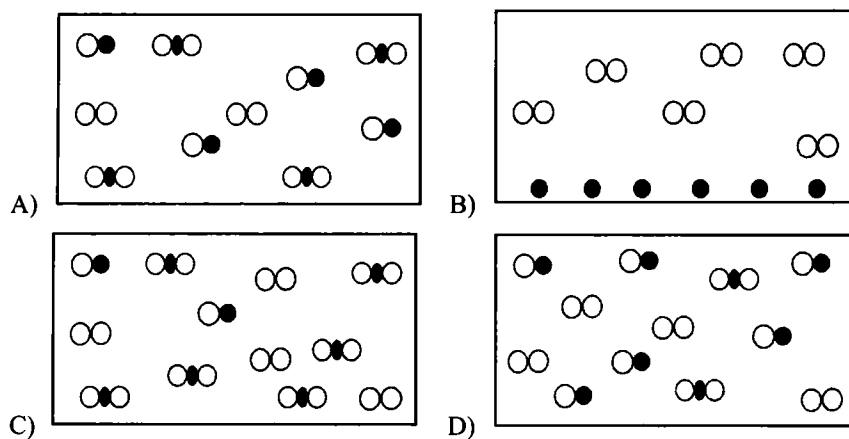




RESPUESTA CORRECTA:

JUSTIFICACIÓN:

c. Aumenta la concentración de O_2 (g)



RESPUESTA CORRECTA:

JUSTIFICACIÓN: