

# Analogías, simulaciones y experimentos mentales para la construcción del modelo del cambio químico

Analogies, simulations and thought experiments in order to construct the chemical change model

María del Mar Aragón-Méndez / Departamento de Didáctica. Universidad de Cádiz. Instituto de Educación Secundaria Fernando Aguilar Quignon (Cádiz)

José María Oliva / Departamento de Didáctica. Universidad de Cádiz



## resumen

Se ejemplifica la modelización del cambio químico, en su dimensión instrumental, a través del uso de una serie de recursos, como analogías, experimentos mentales, simulaciones y animaciones. Todo ello inserto dentro de una secuencia didáctica en torno a dicho modelo, contextualizada en el marco de la contaminación química, y más específicamente a través del estudio de los procesos de combustión química.

## palabras clave

Analogías, animaciones, experimentos mentales, modelo de cambio químico, simulaciones.

## abstract

A series of didactic resources addressed to the development of activities of modeling in science is proposed, giving examples of each one of them addressed to the study of chemical change. Specifically, several activities are presented using analogies, mental experiments, simulations and animations. All of them are inside a didactic sequence around that model, contextualized in the frame of chemical contamination, and more specifically, through the study of chemical combustion processes.

## keywords

Analogies, animations, chemical change model, thought experiments, simulations.

## Introducción

Los modelos ocupan un papel central tanto en la ciencia como en la educación científica. De ahí el auge que ha cobrado la enseñanza basada en modelos en la enseñanza-aprendizaje en este ámbito, y el interés creciente despertado por la modelización como proceso y competencia a poner en juego y desarrollar (Justi & Gilbert, 2002).

En especial, el modelo de cambio químico supone uno de

los núcleos centrales del currículum de ciencias en la educación secundaria (Raviolo, Garritz & Sosa, 2011; Merino & Izquierdo, 2011). Este es un contenido clave para el aprendizaje de otros contenidos y es útil para explicar muchos fenómenos de la vida diaria. Pero la comprensión del modelo de cambio químico puede resultar problemática, pues maneja entidades y relaciones abstractas que son

difíciles de imaginar por su nivel de abstracción (átomos, moléculas, enlaces entre átomos, movimiento molecular, colisiones moleculares, etc.), porque no es sencillo vincularlo con el mundo real, y porque las reglas de representación simbólica usadas para esas entidades tienen cierta complejidad (fórmulas químicas, nomenclatura química, ecuaciones químicas) (Caamaño, 2020).

En este contexto, existen multitud de recursos útiles para facilitar la comprensión del modelo de cambio químico, muchos de los cuales implican la imaginación, la visualización y el pensamiento analógico del estudiante. Entre ellos podemos situar las analogías, los experimentos mentales y las animaciones y simulaciones digitales. En este artículo se describen algunos ejemplos de recursos de este tipo, como base para el desarrollo de prácticas de modelización en química. En concreto, el uso de estos recursos se plantea inserto dentro de una unidad didáctica sobre cambio químico, contextualizada en el marco de la contaminación química, y más específicamente a través del estudio de los procesos de combustión química.

### **Modelos y recursos para la modelización en química**

Un modelo es una representación de un objeto, un proceso o un fenómeno, con objeto de describir, explicar o predecir situaciones y hechos (Adúriz-Bravo, 2012). Unido a ello, los modelos también permiten representar ideas abstractas, por lo que pueden considerarse mediadores entre las teorías y el mundo real (Morrison & Morgan, 1999).

En un contexto didáctico la idea de modelo juega también un papel esencial en la enseñanza de las ciencias. Así, de una parte, los modelos enseñados proporcionan una representación externa del modelo científico de referencia adaptada a la edad de los estudiantes, fruto de su transposición didáctica. Pero, por otra parte, los modelos han de ser construidos internamente por los propios alumnos, mediante procesos de andamiaje que apelan, entre otros, a recursos instrumentales que acompañan las intervenciones del profesorado. Se entiende así que el diálogo profesor-alumno, como

también el de alumno-alumno, debe articularse a través de recursos de apoyo; entre ellos analogías, modelos físicos, simulaciones, animaciones, experimentos mentales, etc. En conjunto, todos ellos son modelos analógicos escolares (Harrison & Treagust, 2000). Son «escolares» al constituir modelos creados con el propósito de ayudar al alumnado en su aproximación al modelo científico. Y podemos llamarlos «analógicos» ya que, habitualmente, están sustentados en analogías (Chamizo, 2010). Por ejemplo, las analogías aproximan el modelo objeto de aprendizaje a otros más concretos y familiares para el alumnado. Las maquetas y modelos físicos a escala, por otro lado, guardan una relación analógica con el mundo real y facilitan oportunidades de visualizar sistemas abstractos. Por su parte, las simulaciones y animaciones presentan un mundo virtual dinámico que mantiene cierto símil con la realidad, y que suele recurrir a representaciones icónicas que permiten visualizar objetos abstractos como átomos, moléculas, redes cristalinas, etc. Finalmente, los experimentos mentales sumergen al alumno en un escenario imaginario que es análogo al mundo real, incorporando en muchos casos narrativas que incluyen exaltaciones alegóricas, como ocurre en el caso del diablillo de Maxwell, o incluso el uso de analogías. Por tanto, la componente analógica constituye un eje esencial en todos estos recursos.

Pero el potencial de estos recursos depende no solo del que posee cada uno por separado, sino, sobre todo, de la posibilidad de hacer un uso combinado y complementario de varios de ellos (Donati & Andrade-Gamboa, 2004; Reiner & Gilbert, 2000), insertos siempre en el marco de una secuencia de enseñanza-aprendi-

zaje más amplia, solo dentro de la cual cobrarían un verdadero sentido.

### **Descripción de una secuencia didáctica para el estudio del cambio químico**

La propuesta didáctica, dirigida al alumnado de 3º de ESO (14-15 años), pretende la elaboración en el aula de modelos sobre el cambio químico, en el contexto de la contaminación química atmosférica. Al ser un tema amplio, se focaliza el problema en las reacciones de combustión, siendo estas el origen de la emisión de gran parte de contaminantes a la atmósfera. La secuencia diseñada sigue una adaptación del esquema de modelización propuesto por Justi y Gilbert (2002) (fig. 1).

El esquema establece cinco fases en las que se integran diferentes recursos, entre ellos analogías, modelos analógicos, simulaciones, animaciones y experimentos mentales, como herramientas que favorecen la práctica reflexiva de modelización.

#### **I. Fase inicial**

En esta fase se formulan cuestiones que justifican y guían el proceso de modelización. En concreto, se propone una lectura reflexiva sobre titulares de prensa y extractos de artículos (Actividad 1), sobre la que luego se lleva a cabo una síntesis que sirve para ilustrar la problemática suscitada y justificar la necesidad de modelos explicativos (Actividad 2). Luego, se realizan actividades prácticas sobre combustiones de sustancias con compuestos de carbono, identificando los productos obtenidos, y se formulan hipótesis sobre su origen. Se trata con ello de proporcionar experiencias directas sobre el fenómeno, retomando el modelo macroscópico sobre el cambio químico, que los estudiantes ya

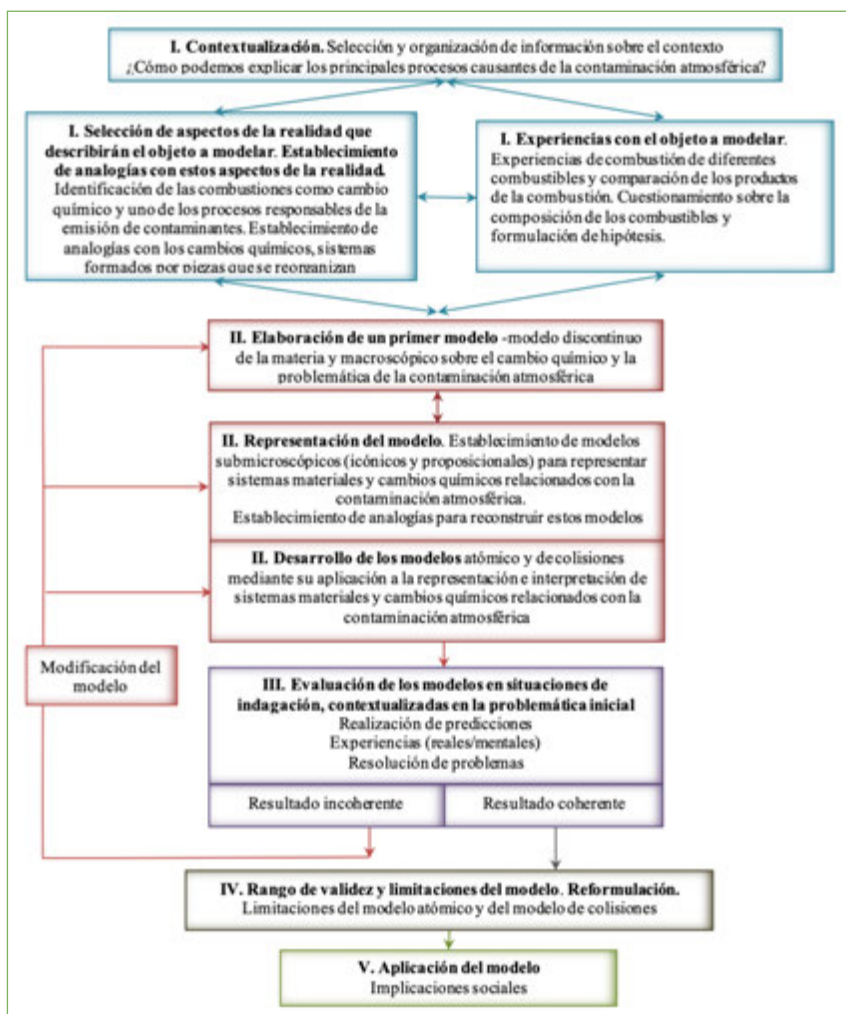


Figura 1. Adaptación de la secuencia de modelización de Justí y Gilbert (2002).

han comenzado a desarrollar en cursos anteriores (Actividad 3). Luego, el profesor o profesora y los alumnos proponen modelos análogos para favorecer la construcción de los modelos a escala submicroscópica, utilizando unidades que pueden unirse de distinta forma (Actividad 4). Finalmente, se realiza una síntesis en la que se delimita y caracteriza la realidad que se va a modelizar (Actividad 5).

## II. Fase de elaboración y representación de los modelos

Primero, se establecen los sistemas de representación de carácter submicroscópico, tanto verbales como icónicos, empleando diagramas de partículas y fórmulas químicas para representar sustancias (Actividad 6). Dichas ideas se apoyan mediante actividades

análogas para facilitar la comprensión de los sistemas de representación usados y su relación con un modelo submicroscópico. En concreto, se usan primero para representar fórmulas y ecuaciones químicas (Actividad 7) empleando luego nuevos modelos análogos para avanzar hacia un modelo de colisiones (Actividad 8). Esta fase se cierra con la aplicación de los modelos de colisiones en cambios químicos relevantes para la problemática de la contaminación atmosférica (Actividad 9).

## III. Fase de comprobación

Se incide en la formulación de problemas, en la realización de predicciones haciendo uso de analogías y en el diseño de experimentos mentales que pueden ser contrastados mediante experiencias reales o simulaciones digitales.

En concreto, se procede a la interpretación del mecanismo de actuación de catalizadores mediante una actividad análoga, en situaciones de indagación, referida a la prevención y disminución de la contaminación (Actividad 10). Posteriormente, se pasa a la aplicación de los modelos desarrollados en la realización de balances de masas, proporciones de reactivos y productos, y velocidad de reacción, en el contexto de la contaminación atmosférica (Actividad 11).

## IV. Fase de formalización

Una vez que los modelos consensuados –modelo atómico y de las colisiones– superan las pruebas a las que son sometidos, es precisa esta fase en la que se sistematizan, se comparan entre sí, y se establecen el rango de validez y las limitaciones de cada uno (Actividad 12).

## V. Fase de aplicación

Se trata de transferir el modelo desarrollado a nuevas situaciones, lo que permite constatar su utilidad e implicaciones en la comprensión de la vida diaria y en nuestra actuación ciudadana. En concreto, se justifican acciones que persigan la reducción de los problemas de contaminación atmosférica, concretando agentes y momentos de actuación (Actividad 13).

Tras la finalización de cada fase, los estudiantes realizan una síntesis de las conclusiones de las actividades desarrolladas. Las síntesis personales deben considerarse provisionales y deben ser mejoradas, contrastándolas con las conclusiones de otros y la mediación del docente, guía y conductor de todo el proceso (Sanmartí, 2000).

## Las actividades análogas en el proceso de modelización del cambio químico

En la propuesta didáctica se usan analogías de forma recurrente

te para facilitar la modelización del cambio químico a escala submicroscópica. Las actividades analógicas presentadas a continuación pretenden ilustrar cómo estas pueden favorecer la construcción de los modelos, al permitir trasladar ideas desde un ámbito conocido y familiar a otro desconocido y alejado de sus experiencias cotidianas; en este caso al mundo de átomos y moléculas. Además, las analogías son de utilidad para realizar predicciones, que luego pueden ser contrastadas con la información disponible a partir de experiencias reales y simulaciones digitales.

La analogía del lego, proporcionada en la actividad 4, es una herramienta útil para interpretar el cambio químico a nivel atómico-molecular, ya que este tipo de representaciones ayudan a entender el significado de una ecuación química (Oliva & Aragón, 2009; Caamaño, 2017). Posteriormente, en la actividad 6, se retoma para establecer la ecuación química como un modelo simbólico de representación, analizando el significado de los coeficientes estequiométricos y diferenciándolos de los subíndices de las fórmulas químicas. Para ello, los alumnos empiezan interpretando las ecuaciones químicas usando las piezas del lego, y otros hacen lo contrario; pero más tarde, si se quiere, se les puede pedir que hagan el proceso

a) Compara el desmontaje y montaje de piezas de lego con un cambio químico a nivel molecular.

b) Indica el significado de los símbolos Am y Az, y el de cada una de las cifras que aparecen en la representación siguiente.


$$Am_4Az_5 \rightarrow 2 Am_2 + Az_5$$


Figura 2. Actividad analógica para favorecer la construcción de un modelo simbólico para representar el cambio químico, la ecuación química.

contrario, esto es, representar mediante fórmulas los procesos de recombinación de piezas.

Además, la analogía del lego puede usarse en la interpretación de la conservación de la masa en los cambios químicos, para ilustrar el concepto de reactivo limitante o la interpretación de la ley de las proporciones definidas.

Para profundizar en la interpretación del cambio químico se recurre a otra actividad analógica, mediante la que se reconstruye el modelo desarrollado, teniendo en cuenta ahora un modelo cinético de colisiones (Actividad 8). El modelo análogo empleado es construido *ad hoc* con bolas de plastilina, en algunas de las cuales se introducen imanes en su interior, mientras en otras no. Tras agitar un conjunto de bolas de plastilina organizadas de una determinada forma, se produce una reorganización de estas, uniéndose entre sí las que contienen imanes. Los estudiantes deben describir el modelo análogo y transferir sus propiedades al sistema atómico-molecular (fig. 3).

Más tarde, se acude de nuevo a una actividad analógica (fig. 4),

esta vez para ilustrar el mecanismo de actuación de los catalizadores (Actividad 10), que juegan un papel importante en la reducción de la emisión de contaminantes por parte de los vehículos de combustión. El modelo análogo empleado para el catalizador es una palanca que facilita la apertura de un bote para retirar su tapa, que luego se coloca en un bote diferente. Las relaciones analógicas establecidas por los estudiantes deben conducir a considerar los catalizadores como sustancias que facilitan la ruptura de las moléculas de las sustancias iniciales, sin transformarse durante el proceso.

Además, empleando la analogía, los estudiantes realizan predicciones sobre el uso de los catalizadores, que luego pueden ser contrastadas. Las cuestiones formuladas son las siguientes: ¿Se agotarían los catalizadores al igual que ocurre con los reactivos?, ¿Podría con el tiempo dejar de ser eficaz un catalizador?, ¿Podría un catalizador acelerar un cambio químico sea cuál sea la cantidad de reactivo que deba reaccionar?, ¿Resuelven los




Modelo de bolas de plastilina		Modelo molecular para la combustión del metano
	El sistema inicial está formado por...	
	El sistema final está formado por...	
	Para que se produzca el cambio es necesario...	

Figura 3. Actividad analógica para la construcción del modelo de colisiones.



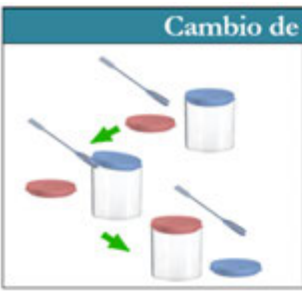
Cambio de tapas	Reacción química	Justificación
	Reactivos	
	Productos	
	Catalizador	
	Reacción sin catalizador	
	Reacción con catalizador	

Figura 4. Actividad analógica para la construcción de un modelo de catalizador.

catalizadores todos los problemas de contaminación generados por las combustiones?

Posteriormente, se emplea la misma analogía para transferir ideas e interpretar un proceso de catálisis que se visualiza a escala submicroscópica mediante una animación (fig. 5).

### Los experimentos mentales y las animaciones en el proceso de modelización del cambio químico

Los experimentos mentales proporcionan la ocasión de reflexionar sobre los modelos reconstruidos, permitiendo su desarrollo y evaluación. Mediante un experimento mental se recrea un escenario en el que, mediante la imaginación, se visualiza mentalmente una situación, pudiendo modificar alguna variable que provoque un cambio en dicho escenario; el cambio responde a las reglas o principios del modelo que se pone en juego.

En el caso del cambio químico, puede ser necesario estimular la imaginación de los estudiantes

para recrear en su mente situaciones dinámicas que se activen al realizar esas modificaciones. Una herramienta que permite reproducir mentalmente escenarios de este tipo son las animaciones. Por ejemplo, al iniciar la actividad 10, tras visualizar una animación sobre la formación de monóxido de nitrógeno (fig. 6), se pide a los estudiantes que, realizando experimentos mentales, respondan a preguntas como: ¿Cómo podemos conseguir que se forme más o menos monóxido de nitrógeno? Posteriormente los estudiantes imaginan que el recipiente de la simulación es el motor de combustión, en el que se introduce aire (mezcla de oxígeno y nitrógeno) para posibilitar la combustión de la gasolina, y se pregunta por la producción de óxidos de nitrógeno en el mismo. La discusión deriva en el tratamiento de los gases emitidos y en el uso de catalizadores.

Del mismo modo, entre las cuestiones formuladas en la actividad 11 y después de poner en

marcha la animación de la fig. 7 sobre la reacción de combustión del hidrógeno, se pregunta sobre cómo podría producirse esta a mayor velocidad. Los estudiantes pueden formular hipótesis sobre cómo afectan determinadas variables, como el volumen del recipiente, la temperatura o la cantidad de moléculas iniciales de reactivos. La animación puede estimular la recreación mental de los sistemas submicroscópicos tras modificar las variables correspondientes. El hidrógeno se discute como alternativa al uso de combustibles fósiles.

### Las simulaciones en el proceso de modelización del cambio químico

Puesto que las simulaciones permiten la interacción de los estudiantes con el modelo base de su diseño computacional, permiten también inferir sus reglas de funcionamiento. Por ello, pueden contribuir a facilitar su construcción, como también a aplicarlo para resolver situaciones problemáticas, e incluso ponerlo a prueba para evaluar su verosimilitud. En el caso del cambio químico, los modelos submicroscópicos pueden ser evaluados a través de un proceso de indagación experimental, pero los principios que los sustentan pueden ser contrastados mediante simulaciones virtuales, que reflejan, de forma visual e interactiva, el comportamiento de los sistemas submicroscópicos representados.

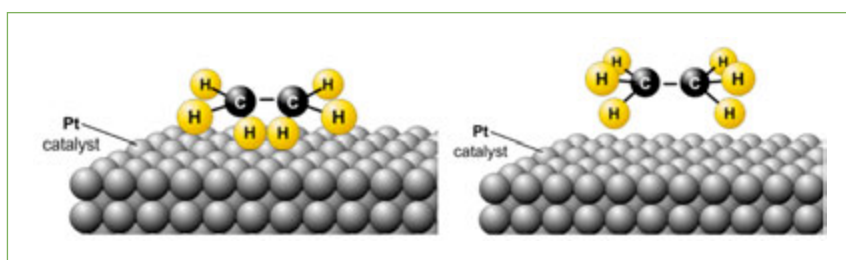


Figura 5. Imágenes de la animación de la reacción de hidrogenación del eteno mediante un catalizador de Pt (<http://www.deciencias.net/proyectos/Ocientificos/Tiger/Tiger.htm>).

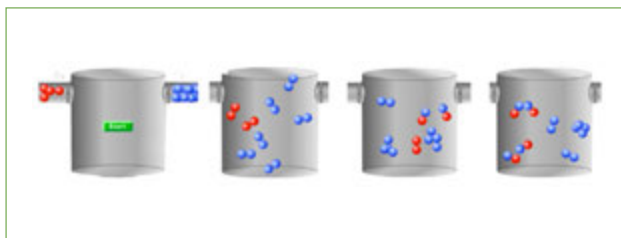


Figura 6. Secuencias de la animación de la formación de monóxido de nitrógeno (<http://www.deciencias.net/proyectos/Ocientificos/Tiger/paginas/LimitingReactant.html>).



Figura 7. Secuencias de la animación de la combustión del hidrógeno (<http://www.deciencias.net/proyectos/Ocientificos/Tiger/paginas/Synthesis.html>).

En la propuesta descrita, las simulaciones han constituido una herramienta para elaborar y validar los modelos propuestos por los estudiantes.

Para desarrollar el modelo simbólico sobre el cambio químico, como parte de la actividad 4 en la que se usa la analogía del lego descrita anteriormente, los estudiantes usan la simulación PhET de la Universidad de Colorado. Se promueve la reflexión mediante preguntas acerca del significado de los símbolos y subíndices empleados en las fórmulas químicas y de los coeficientes que aparecen en las ecuaciones manejadas.

Como herramienta de contrastación del modelo de colisiones, reconstruido en el aula a través de la actividad analógica descrita en el apartado anterior, se ha empleado la simulación propuesta en el sitio PhET. Los estudiantes, entre las cuestiones planteadas en la actividad 11, deben formular una hipótesis razonada sobre la influencia de la temperatura en la velocidad de formación del ozono troposférico. La hipótesis es contrastada mediante una simulación virtual, en la que se puede inferir el aumento de velocidad con la temperatura en una reacción del tipo  $A + BC \rightarrow AB + C$  (fig. 9).

### Conclusiones

Una versión inicial de la propuesta didáctica presentada fue ensayada con un grupo de 23 estudiantes de 3º de ESO de un

centro público. Los resultados obtenidos fueron esperanzadores y avalan la utilidad de la propuesta para el desarrollo de la competencia de modelización. De este modo, 14 de los 21 alumnos experimentaron algún nivel de avance en su desempeño en un cuestionario destinado a evaluar su capacidad para interpretar fórmulas y ecuacio-

nes químicas, así como explicar y predecir fenómenos relacionados con el cambio químico. Los siete alumnos restantes no progresaron, porque ya partían de niveles altos para dicho desempeño. Así mismo, la muestra en su conjunto consiguió avances acerca de aquello en lo que consiste un modelo, su utilidad y su naturaleza evolutiva, entre otros

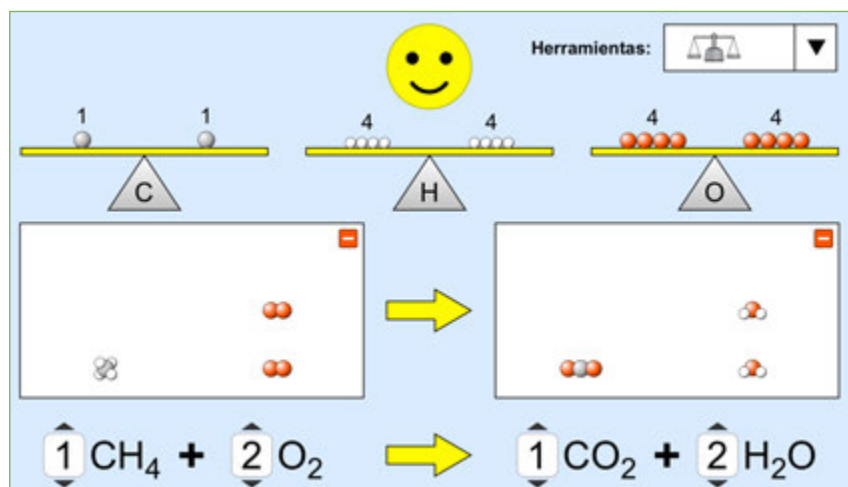


Figura 8. Secuencias de la simulación del ajuste de la ecuación de combustión del metano (<http://www.deciencias.net/proyectos/Ocientificos/Tiger/paginas/LimitingReactant.html>).

El ozono troposférico se genera en la troposfera a partir de otros contaminantes, como los óxidos de nitrógeno. Esta sustancia es responsable del denominado "smog fotoquímico". Una de las diversas reacciones que puede provocar la aparición de ozono en la troposfera responde a la siguiente ecuación.

$$\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g}) \rightarrow \text{NO}(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g})$$

a) ¿Cuándo son de esperar mayores índices de contaminación por ozono, en verano o en invierno? Justifica tu respuesta haciendo uso de los modelos desarrollados.

b) Comprueba tu hipótesis haciendo uso de la simulación presentada.

Figura 9. Simulación digital sobre la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción (<https://phet.colorado.edu/es/simulation/reactions-and-rates>).

aspectos. Ello indica que la unidad didáctica no solo sirvió para mejorar la comprensión y el uso de modelos de cambio químico, sino también para hacer evolucionar sus visiones acerca de la naturaleza de los modelos. Por todo ello, es razonable pensar que los recursos empleados, ejemplificados a lo largo del artículo, jugaron un papel importante en los avances conseguidos.

### Agradecimientos

Financiado por: FEDER / Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades – Agencia Estatal de Investigación / Proyecto EDU2017-82518-P.

### Referencias

- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2012). «Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química». *Educación Química*, vol. 23, suplemento 2, p. 1-9.
- ARAGÓN, M. M.; OLIVA, J. M.; BLANCO, A. (2017). «Abordando el cambio químico desde una perspectiva de modelización y contextualización: avance de resultados». *Enseñanza de las Ciencias*, n.º extraordinario, p. 4357-4362.
- CAAMAÑO, A. (2017). «Formas y niveles de representación de las reacciones químicas. Un instrumento esencial para la comprensión del cambio químico». *Alambique*, n.º 90, p. 8-16.
- (2020). «La estructura conceptual de la química y su enseñanza». En: CAAMAÑO, A. (coord.). *Enseñar química. De las sustancias a la reacción química*. Barcelona: Graó, p. 9-43.
- CHAMIZO, J. A. (2010). «Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 7, n.º 1, p. 26-41.
- DONATI, E. R.; ANDRADE-GAMBOA, J. J. (2004). «Las propiedades de las disoluciones a través de experimentos mentales». *Educación Química*, vol. 15, n.º 4, p. 432-435.
- HARRISON, A. G.; TREGUST, D. F. (2000). «A typology of school science models». *International Journal of Science Education*, vol. 22, n.º 9, p. 1011-1026.
- JUSTI, R.; GILBERT, J. K. (2002). «Modelling teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers». *International Journal of Science Education*, vol. 24, n.º 4, p. 369-387.
- MERINO, C.; IZQUIERDO, M. (2011). «Aportes a la modelización según el cambio químico». *Educación Química*, vol. 22, n.º 3, p. 212-223.
- MORRISON, M.; MORGAN, M. S. (1999). «Models as mediating instruments». En: MORGAN, M. S.; MORRISON, M. (ed.). *Models as mediators*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 10-37.
- OLIVA, J. M.; ARAGÓN, M. M. (2009). «Aportaciones de las analogías al desarrollo de pensamiento modelizador de los alumnos en química». *Educación Química*, vol. 20, p. 41-54.
- RAVIOLA, A.; GARRITZ, A.; SOSA, P. (2011). «Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 8, n.º 3, p. 240-254.
- REINER, G.; GILBERT, J. (2000). «Epistemological resources for thought experimentation in science learning». *International Journal of Science Education*, vol. 22, n.º 5, p. 489-506.
- SANMARTÍ, N. (2000). «El diseño de unidades didácticas». En: PERALES, F. J.; CAÑAL, P. (ed.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Ed. Marfil, p. 239-266.



### María del Mar Aragón-Méndez

Licenciada en Ciencias Químicas y doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Ejerce como profesora de secundaria de física y química en el IES Fernando Aguilar Quignon de Cádiz y como profesora asociada en el Departamento de Didáctica de la Universidad de Cádiz, con docencia en la formación inicial de profesores de ciencias. Sus líneas actuales de investigación se mueven en el ámbito de la modelización en ciencias y la naturaleza de la ciencia. Es editora de sección de la *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.  
A/e: [mariadelmar.aragon@uca.es](mailto:mariadelmar.aragon@uca.es)



### José María Oliva

Licenciado en Ciencias Químicas con el grado de doctor, ejerce como catedrático de universidad de didáctica de las ciencias experimentales en la Universidad de Cádiz. Ha sido durante años profesor de educación secundaria, y hoy día dedica su docencia a la formación inicial de profesores de ciencias. Sus líneas actuales de investigación se mueven en el ámbito de la modelización en ciencias, la naturaleza de la ciencia y la formación del profesorado. Entre sus funciones destacan la de editor de la *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, y la de coeditor del *Boletín de la AIA-CTS*.  
A/e: [josemaria.oliva@uca.es](mailto:josemaria.oliva@uca.es)