

# Indagar y modelizar sobre reacciones bioquímicas

## Inquiring and modeling about biochemical reactions

Verónica Muñoz Campos, Antonio Joaquín Franco Mariscal y Ángel Blanco López / Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Málaga



### resumen

Este trabajo muestra algunas actividades implementadas con estudiantes de 4º de ESO para estudiar mediante prácticas científicas las reacciones químicas implicadas en la elaboración de yogur casero y en la formación de la caries, en las que el papel de las bacterias es esencial. Se ilustra cómo ayudarles a comprender cómo ocurren estas reacciones, realizando dibujos que expliquen la interacción entre los reactivos implicados (modelización), y diseñando y llevando a cabo la reacción química en distintas condiciones (indagación).

### palabras clave

Reacciones bioquímicas, indagación, modelización, prácticas científicas, educación secundaria.

### abstract

This paper shows some activities implemented with grade 10 students to study through scientific practices the chemical reactions involved in the preparation of homemade yogurt and in the tooth decay, in which the role of bacteria is essential. It is illustrated how to help students understand how these reactions occur, making drawings that explain the interaction between the reagents involved (modeling), and designing and carrying out the chemical reaction under different conditions (inquiry).

### keywords

Biochemical reactions, inquiry, modeling, scientific practices, secondary education.

### Introducción

Las reacciones químicas en las que intervienen agentes biológicos, en particular las bacterias, son comunes en la vida diaria. Los distintos tipos de fermentación de alimentos o la aparición de caries son algunos ejemplos.

El hecho de que en ellas intervengan agentes que no se ven a simple vista ni se añaden, constituye una dificultad para su comprensión por parte del alumnado de secundaria. Algunos estudios muestran cómo los estudiantes consideran las bacterias como agentes patógenos que son la principal causa de enfermedades, sin hacer distin-

ción entre enfermedad contagiosa y no contagiosa (Brumby, Garrard & Auman, 1985), o, por el contrario, defienden la idea que las bacterias pueden ser útiles para la elaboración de medicinas o vacunas (Maxted, 1984). Sin embargo, no llegan a ser capaces de explicar su intervención en una reacción bioquímica (Muñoz, Franco & Blanco, 2018). En definitiva, considerar esta naturaleza biológica implica una mayor dificultad para el alumnado con respecto a las reacciones químicas inorgánicas.

En la actualidad, el desarrollo de prácticas científicas de indagación y modelización en el aula de

secundaria se considera necesario para producir avances en el proceso de aprendizaje de los estudiantes (Kelly, 2008). La indagación les permite construir conocimientos sólidos, acercando a los estudiantes al modo de trabajo de los científicos. El uso de esta práctica implica realizar actividades que incluyan distintas facetas como la observación, la formulación de preguntas y respuestas sobre el tema de estudio, el planteamiento de hipótesis, la búsqueda de información en diversas fuentes, el diseño de la investigación, el análisis e interpretación de datos y la comunicación de resultados (Romero-Ariza, 2017).

La modelización de los sistemas (entidades y procesos) consiste en abordarlos a través de representaciones simplificadas, que deben ayudar al alumnado a interpretarlos científicamente (Aragón, 2013). Se trata de una práctica fundamental en la enseñanza de las ciencias que implica que el alumnado no solo aprenda ciencias a través de modelos sino que también sea capaz de elaborar estrategias, habilidades y actitudes para que pueda desarrollar modelos que le permitan entender algunos fenómenos.

La integración de estas prácticas en secuencias didácticas (Franco & Blanco, 2015; Muñoz, Franco & Blanco, 2020a) produce ventajas en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias (Franco, Blanco & España, 2018; Muñoz, Franco & Blanco, 2020b) y puede ayudar a los estudiantes a comprender mejor este tipo de reacciones y la importancia que tienen los agentes biológicos que intervienen en las mismas.

Considerando estas ideas, este artículo recoge algunas actividades implementadas con estudiantes de 4º de ESO de distintos centros educativos para abordar a través de las prácticas científicas de indagación y modelización dos reacciones químicas en las que intervienen bacterias, concretamente la elaboración de yogur casero y la formación de caries.

### Reacciones bioquímicas

El proceso de elaboración de yogur se basa en una reacción bioquímica relacionada con el metabolismo celular de los microorganismos, en concreto para la transformación de la leche en yogur. Esta reacción se conoce como fermentación láctica y se trata de un proceso anaeróbico, en ausencia de oxígeno, cuyo resultado es un producto orgánico. Para que la reacción se lleve a cabo es necesaria la presencia de

microorganismos llamados bacterias, *Lactobacillus* y *Streptococcus*, que transforman la lactosa de la leche en glucosa y posteriormente en ácido láctico.

La lactosa ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) se hidroliza hasta 2-glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) mediante la lactasa, y, posteriormente, la glucosa a través de la glicólisis se transforma en dos moléculas de ácido pirúvico, liberándose dos moléculas de ATP y dos de  $NADH + H^+$ . El ácido pirúvico se reduce por la acción de las moléculas de  $NADH + H^+$  y se transforma en ácido láctico, cuya reacción está catalizada por la lactato-deshidrogenasa (López & Boronat, 2014).

En la formación de caries, las bacterias presentes en la saliva descomponen los azúcares ingeridos en la dieta produciendo ácidos. Estos ácidos reaccionan con el esmalte del diente, compuesto prácticamente en su totalidad (un 95 %) por un fosfato de calcio básico llamado hidroxapatita, separando los iones que lo componen (reacción de desmineralización) y originando la caries (Pedro-Núñez & García-Bacallao, 2010). El ataque de los ácidos va avanzando a las distintas partes del interior del diente hasta llegar en algunos casos a la raíz.

### Identificación de los reactivos

Como en cualquier reacción química, el primer paso para abordarla en el aula es que los estudiantes identifiquen las sustancias químicas que actúan como reactivos y los agentes biológicos implicados. En el caso de las reacciones bioquímicas es conveniente empezar por los materiales reactivos «visibles» (la leche en el caso de la fermentación láctica y el esmalte del diente para la formación de caries), para luego pasar a identificar los agentes biológicos como reactivos que intervienen pero que no se pueden ver a

simple vista. Así, en el caso del yogur el fermento contiene las bacterias que producen la lactasa, una enzima que actúa de catalizador y acelera la reacción de hidrolización de la lactosa. En la formación de caries, las bacterias presentes en la placa dental producen las enzimas responsables de la transformación de los azúcares en ácidos.

### La lactosa como reactivo en la fermentación láctica de la leche

Desde el punto de vista macroscópico la leche es un producto natural en estado líquido de color blanco y aspecto homogéneo. Sin embargo, vista al microscopio la leche ya no aparece como un producto homogéneo y pueden verse en ella distintos componentes, por lo que se recomienda la realización de esta práctica para mostrar que se trata de una mezcla coloidal que contiene uno de los reactivos (la lactosa) implicados en la transformación. Para ello se pueden plantear en el aula distintas preguntas exploratorias: ¿A partir de qué sustancia se elabora el yogur?, ¿Es la leche una sustancia pura?, ¿Cómo podríamos averiguarlo experimentalmente?

Una vez considerado que la leche es el material de partida para la elaboración de yogur, y que se trata de una mezcla, podríamos continuar preguntando cuál es su composición y cómo podríamos saberla. En este punto, se pidió al alumnado traer distintas etiquetas de leche y yogur con idea de elaborar una lista con los ingredientes de cada producto. En su realización en el aula se encontró como dificultad que algunos estudiantes no supieron interpretar los ingredientes de la leche en su etiqueta, al confundirlos con los datos nutricionales en los que se alude a hidratos de carbono, grasas, proteínas o vitaminas. Esta

actividad de indagar las etiquetas de la leche y el yogur estaba encaminada a que surgiera la hipótesis de que la lactosa puede ser el reactivo.

*El esmalte del diente y los ácidos como reactivos en la formación de una caries*

La materia que constituye el esmalte del diente y el azúcar son los dos sistemas materiales visibles implicados en la formación de una caries.

Conocer cómo es la estructura de un diente se muestra fundamental para entender cómo tiene lugar la aparición de caries. Para ello, se propone realizar una búsqueda de información en la web para identificar en un dibujo las distintas partes de un diente (desde el exterior al interior: esmalte, dentina, pulpa y nervio) y en qué orden se verían afectadas en un posible ataque del ácido.

Los estudiantes conocen la influencia del azúcar en la caries ya que es algo que se trata desde los niveles educativos de infantil y primaria (Mafra, Lima & Carvalho, 2015) y está presente en las campañas de prevención (Ministerio de Sanidad y Consumo, 2008). Ahora bien, este caso es más complejo que la elaboración del yogur, ya que el reactivo no es el azúcar, sino los ácidos, especialmente el láctico, que resulta como producto de la intervención de las bacterias presentes en la cavidad bucal (Pedro-Núñez y García-Bacallao, 2010). Esta información se proporcionó de forma directa al alumnado en la secuencia de enseñanza-aprendizaje.

#### **Identificación de las bacterias como agente biológico que produce el catalizador de la reacción**

El agente biológico implicado en ambas reacciones lo constituyen las bacterias, seres vivos microscópicos, siendo el más simple y

abundante de los organismos. Para reconocerlas como posibles agentes que producen las enzimas, se propone una actividad de búsqueda de información en la web sobre las bacterias para terminar con una puesta en común donde cada estudiante expone varias ideas que cree importantes sobre las bacterias. Entre ellas deben aflorar el gran número de tipos de bacterias existentes, las distintas formas en que se presentan y el hecho de que pueden vivir en todos los medios como el suelo o las disoluciones y a cualquier pH (en la leche a pH neutro o en la saliva a pH ácido).

En la leche natural (no en las pasteurizadas) están presentes distintos tipos de bacterias, entre las que se encuentran las denominadas *Lactobacillus*. Se recomienda observar las bacterias al microscopio para ver cómo se mueven y observar que tienen forma de bastones alargados. En lo que concierne al yogur, su elaboración deriva de la simbiosis entre dos bacterias, *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*, que se caracterizan porque cada una estimula el desarrollo de la otra.

Por el contrario, las bacterias de la boca son muy numerosas y corresponden a más de 600 especies, siendo los cocos gram-positivos anaerobios las predominantes. Un aspecto a destacar en la reacción que comporta la formación de caries es que las bacterias están presentes en una disolución (la saliva). Los estudiantes tuvieron la oportunidad de observar la placa bacteriana de los dientes en un anuncio publicitario de una conocida marca de dentífricos que mostraba el aspecto de la dentadura antes y después de cepillarse los dientes (Franco & Blanco, 2015).

#### **Identificación de otros factores que afectan a la reacción bioquímica**

En el estudio de estas reacciones hay que tener en cuenta otros

factores que también afectan a la reacción. Así, la temperatura juega un papel esencial en las reacciones de fermentación láctica. A medida que aumenta la temperatura se produce una reproducción exponencial de las bacterias hasta una temperatura óptima. Por debajo de esta temperatura, se produce una reducción o retraso en la reproducción de microorganismos, y por encima, la alta temperatura causa la inhibición del crecimiento bacteriano.

En el caso de la formación de una caries la composición química del diente es un factor a considerar ya que puede influir en la reacción química. En este sentido, la genética de la persona o los hábitos de alimentación pueden influir en tener dientes más débiles o más fuertes (Pedro-Núñez y García-Bacallao, 2010).

#### **Las prácticas científicas aplicadas a las reacciones bioquímicas**

##### **Cómo ayuda la indagación a entender las reacciones bioquímicas**

La indagación ayuda a los estudiantes a comprender los procesos a través de los cuales transcurre una reacción química. En ambas reacciones, identificar los reactivos, emitir hipótesis, diseñar y realizar experimentos, tomar datos y emitir conclusiones son etapas importantes para entender las reacciones bioquímicas.

En el caso del yogur, se propuso como actividad indagar qué variables influyen en la elaboración de yogur casero, tras haber trabajado en clase los ingredientes que forman parte de la leche y del yogur. Se pidió diseñar diferentes recetas para elaborarlo en el aula, dando al estudiante total libertad en la elección de las variables independientes (la cantidad y tipo de leche, la cantidad de fermentos que aportan las bacterias).

Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 150 g de leche entera</li> <li>• 10 g de yogur natural sin azúcar</li> <li>• Temperatura 10°C.</li> <li>• Tiempo 24 h.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 150 g de leche entera</li> <li>• 10 g de yogur natural sin azúcar</li> <li>• Temperatura 20°C</li> <li>• Tiempo 24 h.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 150 g de leche entera</li> <li>• 10 g de yogur natural sin azúcar</li> <li>• Temperatura 40°C.</li> <li>• Tiempo 24 h.</li> </ul>

Figura 1. Diseño de los experimentos para investigar el efecto de la temperatura en la elaboración del yogur.

Asimismo, se pidió identificar las variables controladas (recipiente, temperatura, tiempo) e indicar la metodología para preparar el yogur, ofreciéndoles una yogurtera y un frigorífico si querían emplearlos. Las variables dependientes de la indagación fueron la cantidad de yogur obtenido, el color, la acidez, el olor y el sabor.

Para acotar todos los diseños, se pidió que se centrasen en una única variable independiente y que planteasen una pregunta a investigar y sus hipótesis (Caamaño, 2012). Una de estas preguntas fue: ¿Hay una temperatura óptima para la obtención del yogur?, que dio lugar a hipótesis como: «La mejor temperatura

para elaborar yogur es guardándolo en el frigorífico a 10 °C» y a un diseño en que la única variable independiente a modificar fue la temperatura, como recoge a modo de ejemplo la fig. 1. La fig. 2 ilustra el resultado obtenido.

Una vez elaborado el yogur se pidió valorar algunas de las propiedades del producto obtenido (color, sabor, acidez), compararlo con un yogur natural comercial y, finalmente, considerar si el producto obtenido se podía o no considerar yogur.

Los experimentos anteriores, y otros realizados con temperaturas más elevadas, permitieron a los estudiantes concluir que existe una temperatura óptima próxima a la temperatura corporal en la que la reacción transcurre muy rápidamente. A esta conclusión se llegó experimentalmente con los resultados de los productos obtenidos, puesto que los productos obtenidos a partir de diseños con temperatura inferior o superior a 40 °C no tenían aspecto de yogur.

Para comprender el proceso de la reacción que ha tenido lugar y por qué en unos casos se obtuvo yogur y en otros no, se realizaron hipótesis sobre la intervención de las bacterias y su relación con la temperatura. Algunas hipótesis



Figura 2. Yogures obtenidos por estudiantes de 4º de ESO.

fueron: «He obtenido yogur porque lo puse en la yogurtera y esto ha contribuido a que las bacterias se reproduzcan más rápido» o «No he obtenido yogur y el producto resultante era muy líquido porque lo metí en el frigorífico y hace falta calor para que se reproduzcan las bacterias».

En el caso de la caries, se propuso una indagación en torno a cómo podríamos picar un diente de leche en el laboratorio. Algunos de los diseños propuestos fueron comparar la picadura que se produciría en un diente sumergido en agua o en otro sumergido en una disolución de agua y azúcar durante el día. Al comprobar los estudiantes que no ocurría nada en ese período de tiempo, propusieron ampliar el tiempo de los experimentos a una semana. Finalmente, decidieron añadir un poco de saliva al vaso con el diente en agua y azúcar (Franco, Blanco & España, 2014).

### Cómo ayuda la modelización a entender las reacciones bioquímicas

En la elaboración de yogur, una tarea de modelización útil para conocer cómo se imaginan los estudiantes que ocurre esta reacción bioquímica es pidiéndoles que la representen mediante dibujos y explicaciones escritas. Del análisis de sus respuestas se obtiene que el modelo mayoritario es aquel en el que las bacterias son el único agente activo implicado en la reacción bioquímica (Muñoz, Franco & Blanco, 2020c), pudiendo actuar con diferentes mecanismos al interactuar con los componentes de la leche, de forma física, biológica o química. La fig. 3 muestra un ejemplo de un modelo en términos de una transformación biológica.

La fig. 4 ilustra una representación gráfica que parece implicar una interpretación química, con ruptura y formación de enlaces

entre diferentes componentes, pero acompañada de una explicación en términos físicos, en el sentido que se habla de juntar componentes.

La fig. 5 muestra un modelo en el que se identifica a las bacterias como agente activo y por cuya acción el azúcar se transforma en ácido láctico mediante una reacción química.

Al finalizar la secuencia, los estudiantes lograron ofrecer una

mejor interpretación y representación (modelización) de la reacción química, como muestra la fig. 6.

### Consideraciones finales

Como se ha puesto de manifiesto, las reacciones bioquímicas, aunque desde un punto de vista conceptual son complejas, pueden ser abordadas con estudiantes de la ESO con la ayuda conjunta de las prácticas científicas de

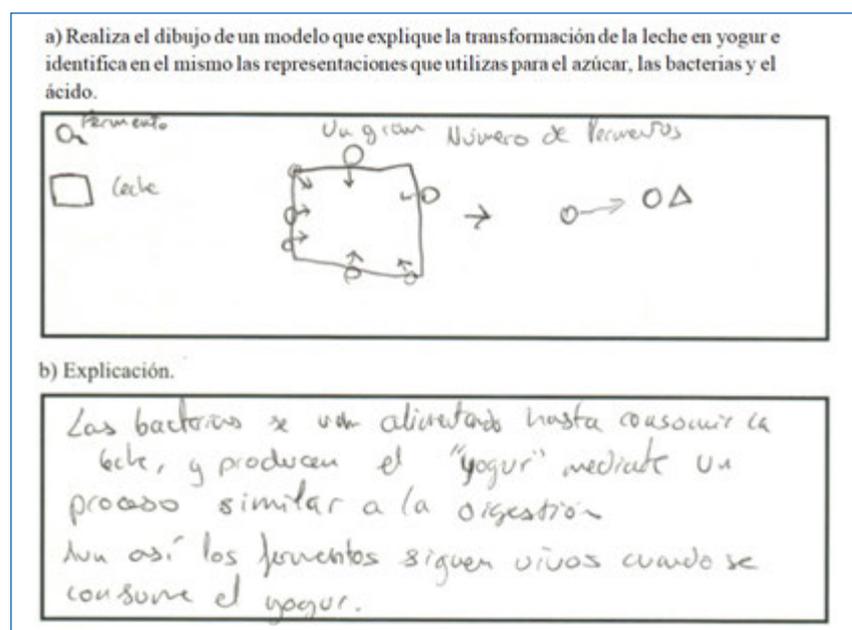


Figura 3. Modelo utilizado por estudiantes de secundaria para explicar la fermentación láctica a través de una transformación biológica.

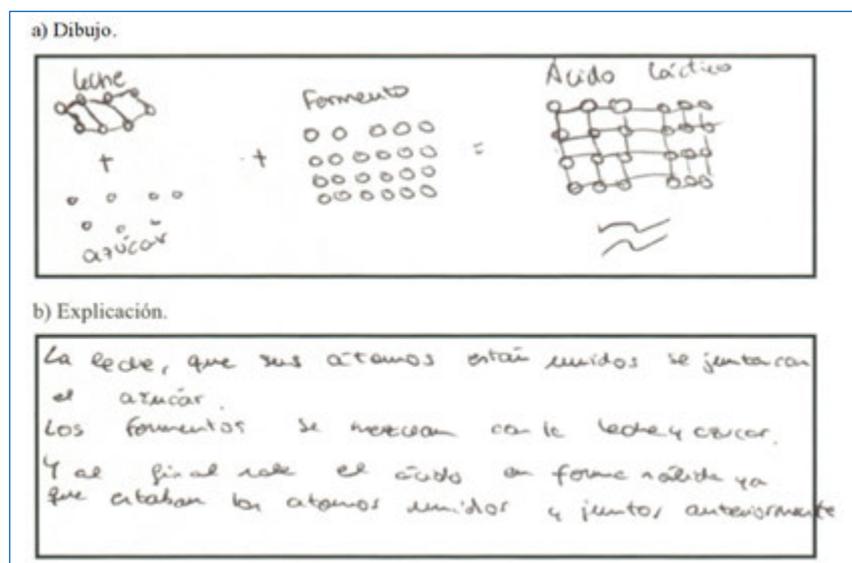


Figura 4. Modelo utilizado por estudiantes de secundaria para explicar la fermentación láctica a través de una transformación que presenta caracteres físicos y químicos.

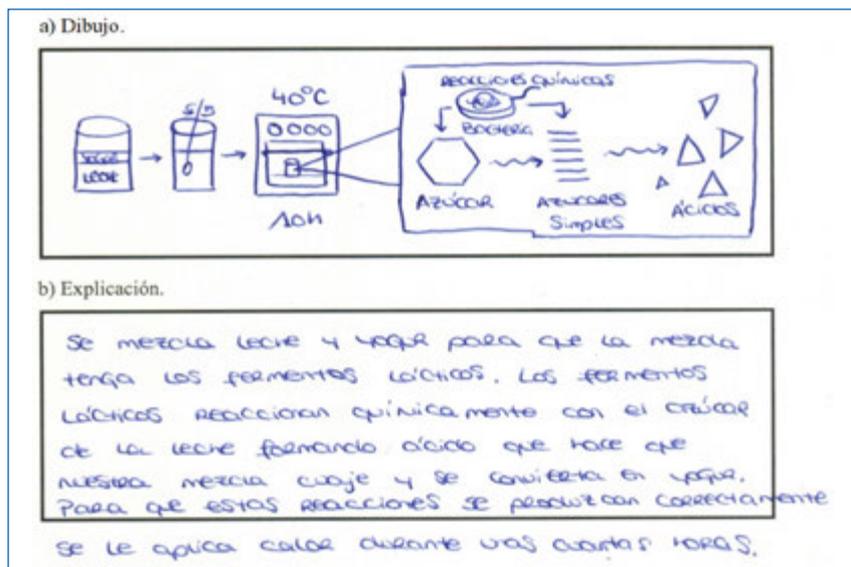


Figura 5. Modelo utilizado por estudiantes de secundaria para explicar la fermentación láctica a través de una transformación química.

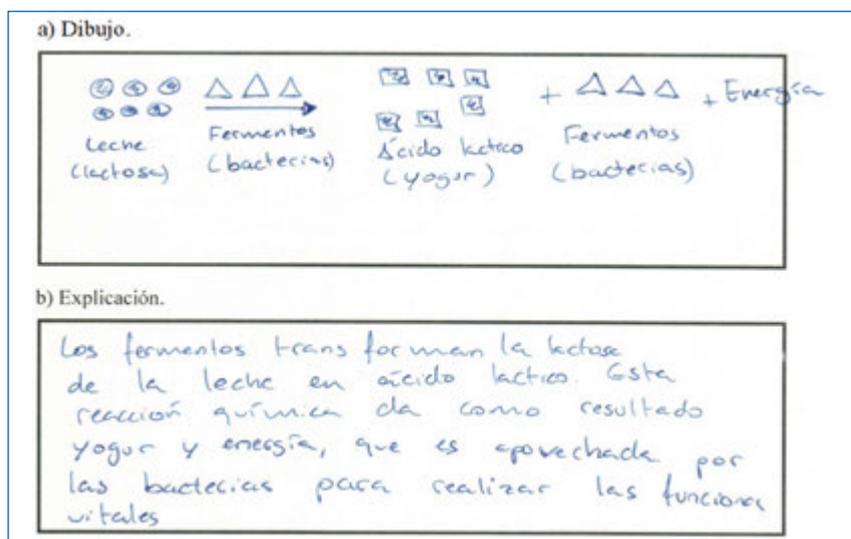


Figura 6. Modelo utilizado por estudiantes de secundaria al finalizar la secuencia.

indagación y modelización.

Aunque en este artículo ambas prácticas se hayan mostrado en secciones diferentes, es importante resaltar su integración. De esta forma, aunque la indagación comience en la fase inicial, la modelización supone una parte del proceso de indagación.

Los estudiantes consideran interesante y novedoso el uso de secuencias que integren las prácticas científicas, mejorando su grado de implicación durante la enseñanza y permitiéndoles aprender sobre el tema estudiado (Muñoz, Franco & Blanco, 2020a).

Los resultados obtenidos muestran que este enfoque ayuda a mejorar los modelos de los estudiantes sobre las reacciones bioquímicas (Franco, Blanco & España, 2018; Muñoz, Franco & Blanco, 2020b) identificando un conjunto de modelos más amplio y avanzado que los modelos recogidos en la literatura para este proceso.

#### Agradecimientos

Este trabajo forma parte de los proyectos del Plan Nacional:

— Proyecto I+D de Excelencia «Desarrollo de competencias en problemas de la vida diaria

mediante prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización en enseñanza secundaria y universitaria» (EDU2017-82197-P) financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

— Proyecto I+D+i «Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias» (PID2019-105765GA-I00) financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

#### Referencias

- ARAGÓN, M. M. (2013). *Aportaciones de la enseñanza con analogías al desarrollo del pensamiento modelizador de los alumnos acerca del cambio químico*. Tesis doctoral. Cádiz: Universidad de Cádiz.
- BRUMBY, M.; GARRARD, J.; AUMAN, J. (1985). «Students' perceptions of the concept of health». *European Journal of Science Education*, vol. 7, n.º 3, p. 307-323.
- CAAMAÑO, A. (2012). «¿Cómo introducir la indagación en el aula?» *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n.º 70, p. 83-92.
- FRANCO, A. J.; BLANCO, A. (2015). «¿Por qué se pican los dientes? Una propuesta para el 2º ciclo de la ESO sobre la salud e higiene bucodental». En: BLANCO, A.; LUPIÓN, T. (ed.). *La competencia científica en las aulas. Nueve propuestas didácticas*. Santiago de Compostela: Andavira Editora, p. 269-300.
- FRANCO, A. J.; BLANCO, A.; ESPAÑA, E. (2014). «El desarrollo de la competencia científica en una unidad didáctica sobre la salud bucodental. Diseño y análisis de tareas». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 32, n.º 3, p. 649-667.
- (2018). «Identifying and improving students' mental models of tooth decay». En: FINLAYSON, O. E.; MCLOUGHLIN, E.; ERDURAN, S.; CHILDS, P. (ed.). *Electronic Proceedings of the ESERA 2017*

- Conference. *Research, Practice and Collaboration in Science Education*. Dublín, Irlanda: Dublin City University, p. 118-127.
- KELLY, G. (2008). «Inquiry, Activity, and Epistemic Practice». En: DUSCHL, R.; GRANDY, R. (ed.). *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation*. Rotterdam: Sense Publishers, p. 99-117; 288-291.
- LÓPEZ, J.; BORONAT, R. (2014). «Microbiología básica del yogur como recurso en el laboratorio de educación secundaria». *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n.º 76, p. 80-86.
- MAFRA, P.; LIMA, N.; CARVALHO, G. S. (2015). «Experimental Activities in Primary School to Learn about Microbes in a Oral Health Education Context». *Journal of Biological Education*, vol. 49, n.º 2, p. 190-203.
- MAXTED, M. A. (1984). *Pupils' prior beliefs about bacteria and science processes: their interplay in school science laboratory work*. Tesis MA, University of British Columbia.
- MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO (2008). *Plan de Salud bucodental «Qué molen tus muelas!»* [recurso electrónico]. <<https://www.mscbs.gob.es/campanas/campanas08/bucoDental/index.html>> [Consulta: 5 noviembre 2020].
- MUÑOZ, V.; FRANCO, A. J.; BLANCO, A. (2018). «Modelos mentales de estudiantes de educación secundaria sobre la transformación de la leche en yogur». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 15, n.º 2, p. 2106.
- (2020a). «Secuencia de enseñanza-aprendizaje para el desarrollo de prácticas científicas en el contexto de consumo de yogur». En: CEBRIÁN, D.; FRANCO, A. J.; LUPIÓN, T.; ACEBAL, C.; BLANCO, A. (COORD.). *Enseñanza de las ciencias y problemas relevantes de la ciudadanía. Transferencia al aula*. Barcelona: Graó [En prensa]
- (2020b). «Integration of scientific practices into daily living contexts: A framework for the design of teaching-learning sequences». *International Journal of Science Education*, vol. 42, n.º 15. DOI: 10.1080/09500693.2020.1821932.
- (2020c). «Integración de prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización en un contexto de la vida diaria. Valoraciones de los estudiantes de secundaria». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 17, n.º 3, p. 3201.
- PEDRO-NÚÑEZ, D.; GARCÍA-BACALLAO, L. (2010). «Bioquímica de la caries dental». *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, vol. 9, n.º 2, p. 156-166.
- ROMERO-ARIZA, M. (2017). «El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias?». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 14, n.º 2, p. 286-299.



#### Verónica Muñoz Campos

Ingeniera química por la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga y doctoranda en didáctica de las ciencias experimentales de la Universidad de Málaga. Profesora de secundaria de la Junta de Andalucía, especialidad física y química. Sus intereses de investigación están centrados en el desarrollo de secuencias didácticas integrando prácticas científicas de argumentación, indagación y

modelización. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2647-6560>  
C. e.: [v.munoz@uma.es](mailto:v.munoz@uma.es)



#### Antonio Joaquín Franco Mariscal

Profesor titular de didáctica de las ciencias experimentales en la Universidad de Málaga. Investigador principal del Proyecto I+D+i PID2019-105765GA-I00 del Plan Nacional y miembro del Grupo de Investigación ENCIC (PAIDI-HUM-974). Sus intereses de investigación están centrados en el desarrollo del pensamiento crítico, prácticas científicas y gamificación en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8704-6065>  
C. e.: [anjoa@uma.es](mailto:anjoa@uma.es)



#### Ángel Blanco López

Catedrático de didáctica de las ciencias experimentales en la Universidad de Málaga. Responsable del Grupo de Investigación sobre «Enseñanza de las Ciencias y Competencias» (ENCIC) ([www.encic.uma.es](http://www.encic.uma.es)). Sus intereses de investigación están centrados, actualmente, en el desarrollo de competencias en problemas de la vida diaria mediante prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3628-0801>  
C. e.: [ablancol@uma.es](mailto:ablancol@uma.es)