

La química en los problemas sociocientíficos: uso de pruebas en argumentos de profesores de secundaria de ciencias en formación inicial

La química en els problemes sociocientífics: ús de proves en arguments de professors de secundària de ciències en formació inicial

Chemistry in socioscientific issues: use of evidence in arguments of secondary science pre-service teachers

María José Cano-Iglesias / Universidad de Málaga. Escuela de Ingenierías Industriales

Antonio Joaquín Franco-Mariscal / Universidad de Málaga. Didáctica de las Ciencias Experimentales

José María Oliva-Martínez / Universidad de Cádiz. Didáctica de las Ciencias Experimentales



resumen

Este trabajo aborda la argumentación a través de problemas sociocientíficos donde la química tiene un papel relevante, como el consumo de agua embotellada (disoluciones), la prohibición de plásticos de un solo uso (enlace químico) o la compra de una bicicleta (metales y reactividad). Se presentan las pruebas químicas deseables para argumentar sobre estos problemas y se comparan con las dadas por estudiantes del Máster en Profesorado de Educación Secundaria de especialidades de ciencias. Los resultados indican que el alumnado encuentra dificultades para utilizar correctamente pruebas químicas en estos contextos.

palabras clave

Argumentación, problemas sociocientíficos, uso de pruebas, disoluciones, enlace químico, metales.

resum

Aquest treball planteja l'argumentació a través de problemes sociocientífics en els quals la química té un paper rellevant, com el consum d'aigua embotellada (dissolucions), la prohibició de plàstics d'un sol ús (enllaç químic) o la compra d'una bicicleta (metalls i reactivitat). Es presenten les proves químiques desitjables per argumentar sobre aquests problemes i es comparen amb altres de proporcionades per estudiants del Màster en Professorat d'Educació Secundària d'especialitats de ciències. Els resultats indiquen que l'alumnat troba dificultats a l'hora de fer servir correctament proves químiques en aquests contextos.

paraules clau

Argumentació, problemes sociocientífics, ús de proves, dissolucions, enllaç químic, metalls.

abstract

This paper approaches argumentation through socioscientific issues where chemistry has a relevant role, such as the consumption of bottled water (solutions), the ban on single-use plastics (chemical bonding) or the purchase of a bicycle (metals and reactivity). The desirable chemical evidence for arguing about these issues are presented and compared with those given by students of science specialties of the Master's Degree in Secondary Education Teachers. The findings indicate that students find it difficult to correctly use chemical evidence in these contexts.

keywords

Argumentation, socioscientific issues, use of evidence, solutions, chemical bonding, metals.

Introducción

Un desafío importante para la educación científica es formar ciudadanos capaces de dar respuesta a los problemas sociocientíficos de nuestra sociedad, en muchos de los cuales la química está muy presente. En este sentido, la formación inicial del profesorado debería tener como finalidad formar docentes capaces de promover en su alumnado las competencias necesarias para que puedan desenvolverse de manera adecuada y tomar decisiones en su vida diaria.

Los problemas sociocientíficos ofrecen oportunidades para argumentar en el aula de ciencias. La argumentación es una práctica científica encaminada a la resolución racional de cuestiones, preguntas y problemas (Siegel, 1995) y constituye una herramienta fundamental en la construcción de explicaciones, modelos y teorías (Toulmin, 2003). Argumentar consiste en «evaluar enunciados con base en pruebas, es decir, reconocer que las conclusiones y los enunciados científicos deben estar justificados, en otras palabras, sustentados en pruebas» (Jiménez-Aleixandre, 2010: 23). De ahí la confluencia existente entre los estudios sobre modelización y argumentación en ciencias o construcción de explicaciones (Cardoso y Justi, 2013; Monteiro y Jiménez-Aleixandre, 2019).

A pesar de que el uso de pruebas científicas es esencial para construir argumentos de calidad, la literatura revela que las pruebas que emplea el alumnado para apoyar sus argumentos o para explicar

conclusiones son insuficientes (Sandoval y Millwood, 2005). Otras dificultades aparecen al integrar pruebas en las justificaciones (Bravo y Jiménez-Aleixandre, 2013) o al interpretar datos (Kanari y Millar, 2004).

Por esta razón, este estudio realiza un análisis sobre las pruebas que utilizan profesores de secundaria de ciencias en formación inicial cuando se les plantea argumentar sobre problemas sociocientíficos donde la química es importante.

Contexto

Este trabajo se enmarca en un proyecto de investigación que pretende fomentar la argumentación a través de problemas sociocientíficos relacionados con acciones climáticas, medioambientales y de eficiencia en recursos para profesores en formación inicial. En un estudio preliminar se pretende conocer las dificultades del profesorado al elaborar argumentos en los que las pruebas químicas son importantes, como el consumo de agua embotellada versus agua de grifo (concepto de disolución), la prohibición de plásticos de un solo uso (enlace químico), y la elección del material más idóneo para una bicicleta (metales y reactividad). Este estudio servirá como base para desarrollar aplicaciones móviles sobre argumentación.

Los participantes de este estudio fueron 51 estudiantes del Máster en Profesorado de Educación Secundaria de la Universidad de Málaga de las especialidades de Física y Química y de Biología y Geología, de edades comprendidas entre 22 y 30 años. Todos ellos

cursaban la asignatura Innovación Docente e Iniciación a la Investigación Educativa durante el curso 2021-2022 y no habían recibido formación en argumentación científica.

La actividad consistió en responder de forma argumentada las siguientes cuestiones, con base en los conocimientos adquiridos en su formación previa:

- ¿Es mejor consumir agua del grifo o agua embotellada?
- Recientemente la Unión Europea ha publicado una normativa para prohibir los plásticos de un solo uso. ¿Estás a favor o en contra de esta prohibición?
- Vas a comprar una bicicleta, ¿cuál elegirías, una de acero o una de aluminio?

Para estudiar la capacidad del alumnado de usar pruebas se analizaron los argumentos dados y se categorizaron los distintos tipos de pruebas. Luego, se contabilizó el porcentaje de estudiantes que hizo alusión a cada prueba, teniendo en cuenta que muchos aportaron más de un tipo.

Respecto a los problemas planteados, debemos indicar que no existe una respuesta única, ya que la decisión adoptada dependerá del valor que cada estudiante dé a las evidencias mostradas según su conocimiento sobre el problema, su concienciación por el medio ambiente, su economía, sus creencias, etc.

El consumo de agua embotellada versus agua de grifo

Este problema sociocientífico es relevante porque, a pesar de que el consumo de agua es

necesario para la vida, lleva asociada la controversia de qué agua es mejor para su consumo. Existen varios factores que influyen en ello, como dudar de la seguridad del agua de abastecimiento público y considerarla «poco saludable» (Rodríguez, 2016) o la publicidad de las empresas embotelladoras que promueven su pureza y beneficios para la salud (Royte, 2008). Se trata de un problema con repercusiones importantes en ámbitos de la vida diaria, como la salud (Ferrier, 2001), e implicaciones sociales, económicas y ambientales (Gleick y Cooley, 2009).

Argumentar sobre el consumo de agua puede ayudar a explicitar algunos conceptos químicos presentes en el problema, como los de disolución, disolvente, soluto (varias sales disueltas en diferentes concentraciones), propiedades del agua, proceso de potabilización o contaminación por contacto con otros materiales, etc. Esta información debería utilizarse como prueba en los argumentos para sustentar qué agua es mejor para el consumo. La tabla 1 recoge los contenidos químicos esperables en los argumentos del alumnado,

así como los conceptos que deberían manejar.

Un 62,7% de los estudiantes optó por el agua de grifo y el 37,3% prefirió el agua embotellada. Indistintamente de la opción elegida, el análisis de los argumentos aportados reveló que el 43% del alumnado sustentó sus conclusiones, entre otras, en pruebas químicas. Asimismo, también se apoyaron en pruebas económicas (65%), ambientales (generación de residuos) (16%) y opiniones o experiencias vividas (6%).

El 12% de los estudiantes hizo referencia a la composición del agua, aunque de forma ambigua. En ningún caso se mencionó el término *disolución* explícitamente, aunque sí reconocieron la existencia de elementos disueltos:

«El agua embotellada puede contener una mayor concentración de solutos, siendo el agua de grifo más pura» (E16).

«El agua embotellada es más pura y blanda, con menos minerales» (E14).

Ningún estudiante expresó fórmulas de los solutos y el 18% nombró algunos compuestos como cal, cloro o carbonato de

calcio, mientras que otros los denominaron de forma más general como sales minerales:

«El agua de grifo tiene muchísima cal, con los perjuicios renales que el carbonato cálcico tiene» (E29).

«Estoy a favor del agua embotellada porque su consumo es mejor para nuestro organismo debido a su composición en minerales, carbonatos, etc.» (E12).

Ningún estudiante utilizó la propiedad disolvente universal. No obstante, el 6% de estudiantes expuso pruebas relativas a las propiedades químicas del agua (dureza o alcalinidad), aunque no definieron estas propiedades ni las relacionaron con los componentes del agua.

«La dureza del agua está mejor controlada en el agua embotellada» (E35).

«En Málaga es mejor agua embotellada que de grifo, debido a la alta alcalinidad» (E19).

Relativo al proceso de potabilización, solo el 2% mencionó la adición de un soluto (cloro) como agente desinfectante. Sin embar-

Contenido químico	Prueba deseable
Disolución	El agua de grifo o embotellada es una disolución homogénea formada por varias sustancias.
Componentes de la disolución	El disolvente (agua) como componente mayoritario de la disolución de otros solutos representativos (bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, etc. de calcio, magnesio o sodio principalmente), empleando nomenclatura y fórmula química adecuadas.
Propiedades del agua	Propiedades del agua: disolvente universal, valor de pH, carácter incoloro, inodoro e insípido (pero que los solutos que contiene son los que le dan sabor), etc.
Proceso de potabilización	Reacciones químicas de eliminación, adición o transformación de componentes del agua.
Contaminación del agua por contacto con otros materiales	Posibilidad de disolución de otros materiales al entrar en contacto con el agua en los procesos de almacenaje, transporte, etc.

Tabla 1. Contenidos químicos y pruebas deseables en el problema del consumo de agua.

go, el 6% reconoció que el agua potable debe ser tratada previamente para su consumo:

«El agua de grifo lleva disuelto cloro para desinfectarla» (E35).
«Desde el punto de vista químico no tiene por qué ser más buena el agua embotellada que la del grifo, pero sí está más tratada y se puede saber que estás consumiendo por las etiquetas» (E10).

Respecto a la contaminación, todo el alumnado dio por supuesto que el almacenaje del agua embotellada debía ser plástico (podría ser en cristal, por ejemplo), y el 6% expuso la posibilidad de que el plástico de las botellas «liberara sustancias» al agua, nocivas para la salud.

«Pueden transferirse elementos del plástico al agua pudiendo ser disruptores endocrinos» (E04).
«El agua embotellada puede contener bisfenol A» (E41).

El 2% hizo referencia a la generación de microplásticos, perjudiciales para la salud y el medioambiente:

«El agua de grifo no utiliza plásticos y, por ello, tampoco lleva asociado microplásticos que afectan perjudicialmente a la salud» (E10).

Igualmente, el 6% también mencionó la posibilidad de contaminación en función de las tuberías por las que circula el agua:

«Es mejor consumir agua del grifo porque es potable con mineralización adecuada y hoy día circula por cañerías aptas, no de plomo como hace años que podría soltar sustancias perjudiciales» (E32).

Prohibición de plásticos de un solo uso

Los plásticos son el material más empleado en la fabricación de objetos, han reemplazado a otros materiales mejorando la calidad de vida (Jaén y Palop, 2011) y evitando el uso de recursos naturales escasos. Su bajo precio, ligereza y durabilidad han supuesto avances en los ámbitos del transporte, la informática, la medicina, etc. (López et al., 2022). Como aspecto negativo, su lento proceso de degradación supone un problema ambiental, lo que hace que persistan como residuos en todos los medios, principalmente en mares y océanos. Para resolver este problema, la Organización de Naciones Unidas estableció una normativa para limitar el uso excesivo de plásticos de un solo uso a partir de 2022 (Koch y Barber, 2019).

Este problema es relevante en la vida diaria de los ciudadanos, que emplea de forma frecuente plásticos de un solo uso. Argumentar sobre los plásticos puede hacer aflorar la química inherente al problema y ayudarles en la

comprensión de estos aspectos. Entre ellos, la composición química y las propiedades de estos materiales (átomos implicados, enlace químico y características de la sustancia), el concepto de monómero y polímero, las reacciones químicas implicadas en su formación y descomposición (polimerización y degradación) y los tipos de polímeros resultantes según su cadena molecular para la fabricación de elementos de uso diario. Además, también deberían conocer algunas propiedades de estos materiales, como su reciclabilidad y los distintos procesos de degradación. La tabla 2 muestra los contenidos implicados en este problema y las pruebas deseables, mientras que la figura 1 ilustra, a partir del polietileno, algunos de los contenidos menos empleados por el alumnado en sus argumentos.

Un 97,7% de los estudiantes estuvo de acuerdo con la prohibición y solo el 2,3% se posicionó en contra. El análisis de los argumentos dados por el alumnado mostró, indistintamente de la

Contenido químico	Prueba deseable
Monómero y polímero	Conceptos de monómero y polímero, reconociendo el carbono como elemento principal de la cadena.
Polimerización	Proceso de polimerización como reacción química en la que se forman enlaces de diferente fortaleza en la cadena (enlaces covalentes –fuertes– y fuerzas intermoleculares de Van der Waals –débiles–), responsables de las propiedades de estos materiales.
Estructura del polímero	Tipos de polímeros en función de su estructura: polímeros termoplásticos, termoestables y elastómeros.
Propiedades	Polímeros reciclables y no reciclables. Tipos de degradación en función de los aditivos (oxidación, fotoquímica o biológica).

Tabla 2. Contenidos químicos y pruebas deseables en el problema de la prohibición de plásticos.

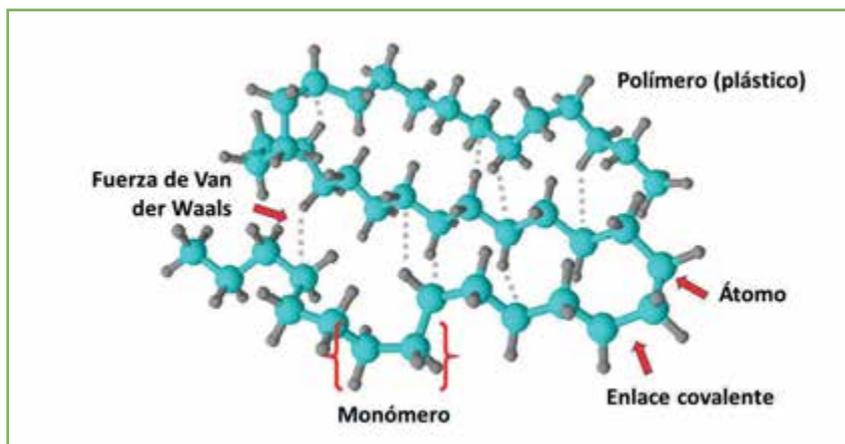


Figura 1: Polímero de polietileno ilustrando algunos contenidos químicos implicados en el problema de la prohibición de plásticos.

opción elegida, que solo el 35% empleó una o más pruebas químicas, encontrándose pruebas mayoritarias basadas en impactos ambientales (88%), concienciación social (39%), sobre salud de seres vivos (19%) o económicas (2%). Las pruebas químicas se centraron en las propiedades de los plásticos relativas a su degradación (23%) o posibilidad de reciclaje (14%).

Ningún estudiante hizo referencia a monómero, polímero o reacción de polimerización. Tampoco relacionaron la naturaleza del enlace de estos polímeros con sus propiedades. De forma muy general describieron el tiempo para su degradación:

«El plástico es un material que tarda aproximadamente 150 años en degradarse y hasta 1.000 años en desaparecer por completo» (E02).

A pesar de que algunos estudiantes reconocieron que uno de los procesos de degradación produce como resultado microplásticos, no lo relacionaron con los aditivos empleados en el proceso de fabricación de ese componente, ni con los elementos potenciadores de esta degradación como el oxígeno o la luz (oxofotodegradación), asumiendo que todos se degradan de igual manera:

«Los plásticos se acaban fragmentando en microplásticos acumuladores de toxinas colándose en todo nuestro entorno. Los microplásticos están provocando efectos nocivos sobre las plantas y nosotros» (E17).

El 5% reconoció el término biodegradación como propiedad de alguno de estos polímeros, aunque, de nuevo, no lo vincularon con los tipos de monómeros de partida ni con los microorganismos relacionados con esta degradación. Incluso un 2% generalizó el concepto de degradación como biodegradación:

«Los materiales biodegradables podrían emplearse para sustituir plásticos de un solo uso» (E36).

«Su biodegradación además es muy lenta por lo que se debería regular su uso» (E16).

Por último, el 5% del alumnado se refirió al reciclaje de estos materiales, de forma imprecisa, sin diferenciar los distintos tipos:

«Es fundamental un buen tratamiento de residuos, como sería el reciclaje» (E02).

«La quema de estos plásticos produce un incremento de gases no favorables para el ecosistema» (E07).

Además en este último ejemplo no se llegó a indicar la peligrosidad de algunos gases emitidos.

El material más adecuado para una bicicleta

Una situación de nuestra vida diaria podría ser la decisión de qué bicicleta comprar. Hoy día, la mayor concienciación ambiental y el crecimiento masivo de las ciudades potencian que muchas personas opten por la bicicleta como transporte ecológico. A esto, debemos sumar las personas que la utilizan para hacer deporte. La elección más adecuada al comprar una bicicleta es importante porque el consumidor combina estímulos de marketing recibidos (producto, precio, promoción, marca, etc.) con sus intereses individuales (modelo, tipo de uso) (Blanco y Forero, 2017).

Este problema es atractivo para que emerjan pruebas químicas ya que aborda conceptos relacionados con los materiales metálicos, en este caso, acero y aluminio. Las construcciones argumentativas del alumnado permiten diferenciar metal puro y aleación, así como manejar algunas propiedades físicas y químicas para justificar sus conclusiones. Entre ellas, puntos de fusión y ebullición, densidad, dureza, o los procesos redox que tienen lugar en el medio en el que se encuentren. La tabla 3 resume los conceptos químicos que debería mostrar el alumnado en su argumentación.

Un 83,3% de los estudiantes prefirió el aluminio y el 16,7% optó por el acero para sus cuadros de bicicleta. Indistintamente de la opción elegida, el uso de pruebas químicas en los argumentos asociados a este problema se considera relevante porque el 95% del alumnado hizo alusión

Contenido químico	Prueba deseable
Metal puro y aleación	Metal puro y aleación, como mezcla homogénea de dos o más elementos, siendo, al menos uno, metálico.
Propiedades físicas	Principales propiedades físicas de los metales: densidad, dureza, ductilidad, conductividad térmica, conductividad eléctrica, etc.
Propiedades químicas	Principales propiedades químicas como comportamiento reductor, gracias a su capacidad de ceder electrones y oxidarse, aunque, dependiendo de las propiedades de los óxidos formados, será más o menos susceptible a que se produzca este proceso. Posibles factores que pueden acelerar o disminuir la cinética del proceso redox.

Tabla 3. Contenidos químicos y pruebas deseables en el problema de la compra de una bicicleta.

bien a alguna prueba física-química o al comportamiento frente a la corrosión en entornos húmedos para ambos materiales, aunque no en todos los casos con rigor químico.

Solo el 2% identificó estos materiales como metálicos y el 7% expresó que tanto aluminio como acero son aleaciones y que dependiendo de sus componentes serían sus propiedades:

«El aluminio es un metal [...]» (E28)
«Existen aceros inoxidable que evitan la corrosión de este material» (E4).

La mayoría de estos estudiantes (93%) expuso como prueba determinante para justificar su elección la menor densidad del aluminio, aunque lo expresaron referenciando su peso o ligereza respecto al acero:

«El aluminio pesa menos» (E02).
«Elegiría una bicicleta de aluminio porque me interesa una bicicleta que sea más ligera» (E05).

Respecto a las propiedades químicas de estos materiales, el 38% identificó la resistencia a la corrosión en ambientes húmedos del aluminio, aunque el 7% también reconoció alternativas al aluminio:

«El aluminio no se oxida rápido con el paso del tiempo (como sí pasa con el acero)» (E05).
«Existen aleaciones de acero que son tan resistentes a la corrosión como el aluminio» (E028).

Adicionalmente, estos estudiantes también expusieron pruebas mecánicas (33%) o económicas (17%) para apoyar las conclusiones.

Consideraciones finales

Las pruebas químicas utilizadas por el alumnado en los problemas planteados ponen de manifiesto que, a pesar de haber recibido una formación universitaria respecto a estos conceptos, si se emplean fuera del contexto académico estos estudiantes tienen dificultades, en menor o mayor grado, al aplicarlas de forma adecuada.

Esta dificultad no está relacionada en sí con los conceptos químicos, ya que algunos términos son sobradamente conocidos por el estudiantado, sino con su capacidad para movilizarlos a otros contextos, así como su utilización para argumentar sobre temas ambientales o eficiencia en recursos.

Los resultados obtenidos nos ayudarán en el diseño de las aplicaciones móviles que consistirán en una sala de encuentro

virtual en la que varios usuarios podrán conversar mediante un sistema de chat para realizar debates en los que podrán tomar diferentes roles y que servirá de plataforma de argumentación científica y tecnológica. Para potenciar el uso de argumentos con pruebas químicas y superar las debilidades detectadas, la aplicación ofrecerá oportunidades para reflexionar sobre estos aspectos, sin olvidar otras dimensiones presentes en el problema.

Agradecimientos

Este trabajo es parte de:

- Proyecto I+D (ProyExcel_00176) “" Aplicaciones móviles para la argumentación científica y tecnológica sobre acciones climáticas, medioambientales y eficientes en "recursos"”; financiado por el Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación (PAIDI 2020) en 2021 de la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Junta de Andalucía.

- PIE22-184 del Grupo Permanente de Innovación en Educación Crítica (EDUCRIT) de la Universidad de Málaga.

Referencias

BLANCO, H. A.; FORERO, D. L. (2017). *Comportamiento del consumidor frente a la decisión de compra en artículos deportivos relacionados con el uso de bicicleta*

en la ciudad de Bogotá. Universidad Externado de Colombia. [Tesis doctoral]

- BRavo, B.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (2013). «¿Criaríamos leones en granjas? Uso de pruebas y conocimiento conceptual en un problema de acuicultura». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 10, n.º 2, p. 122-135.
- CARDOSO, P. C.; JUSTI, R. (2013). «The relationships between modelling and argumentation from the perspective of the model of modelling diagram». *International Journal of Science Education*, vol. 35, n.º 14, p. 2407-2434.
- FERRIER, C. (2001). «Bottled water: understanding a social phenomenon». *A Journal of the Human Environment*, vol. 30, n.º 2, p. 118-140.
- GLEICK, P. H.; COOLEY, H. S. (2009). «Energy implications of bottled water». *Environmental Research Letters*, n.º 4, p. 14009-14015.
- JAÉN, M.; PALOP, E. (2011). «¿Qué piensan y cómo dicen que actúan los alumnos y profesores de un centro de educación secundaria sobre la gestión del agua, la energía y los residuos?». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 29, n.º 1, p. 61-74.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (2010). *10 Ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- KANARI, Z.; MILLAR, R. (2004). «Reasoning from data: how students collect and interpret data in science investigations». *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 41, n.º 7, p. 748-769.
- KOCH, B. S.; BARBER, M. M. (2019). «Basuras marinas; impacto, actualidad y las acciones para mitigar sus consecuencias». *Revista de Marina*, n.º 968, p. 30-39.
- LÓPEZ, M. M.; GONZÁLEZ, F.; FRANCO-MARISCAL, A. J. (2022). «Plásticos:

Revisión bibliográfica en Didáctica de las Ciencias Experimentales (2010-2019)». *Revista de Educación*, n.º 397, p. 261-292.

MONTEIRA, S. F.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. (2019). «¿Cómo llega el agua a las nubes? Construcción de explicaciones sobre cambios de estado en educación infantil». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 16, n.º (2), p. 2101.

RODRÍGUEZ, F. (2016). *El «consumo de agua de bebida envasada» como contexto para el desarrollo de competencias científicas. Un estudio de caso en 3er curso de la educación secundaria obligatoria*. Universidad de Málaga. [Tesis doctoral]

ROYTE, E. (2008). *Bottlemania. How water went on sale and why we bought it*. Nueva York: Bloomsbury.

SANDOVAL, W. A.; MILLWOOD, K.A. (2005). «The quality of students' use of evidence in written scientific explanations». *Cognition and Instruction*, vol. 23, n.º 1, p. 23-55.

SIEGEL, H. (1995). «Why Should Educators Care about Argumentation?». *Informal Logic: Reasoning and Argumentation in Theory and Practice*, vol. 17, n.º 2, p. 159-176.

TOULMIN, S. E. (1958). *The uses of argument*. Cambridge University Press. [3a ed. (2003)]



María José Cano Iglesias

Profesora contratada doctora en Ingeniería de los Procesos de Fabricación en la Universidad de Málaga. Actualmente realizando

su segunda tesis doctoral sobre desarrollo de pensamiento crítico a través de la argumentación, toma de decisiones y análisis de la información en estudiantes de ingenierías industriales.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5212-1934>.

C. e.: mjcano@uma.es



Antonio Joaquín Franco Mariscal

Profesor titular de didáctica de las ciencias experimentales en la Universidad de Málaga. Investigador principal de tres Proyectos I+D+i. Miembro del Grupo ENCIC (HUM-974). Intereses de investigación: 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



José María Oliva Martínez

Catedrático de universidad del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Licenciado en Química y doctor en Ciencias. Ha sido durante años profesor de educación secundaria y formador de profesores. Líneas de investigación: enfoques de modelización en ciencias, naturaleza de la ciencia y formación inicial del profesorado.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2686-613>.

C. e.: josemaria.oliva@uca.es