

Uso y evaluación de modelos para interpretar el proceso de disolución de compuestos iónicos en agua

Ús i avaluació de models per interpretar el procés de dissolució de compostos iònics en aigua

Using and assessing models for interpreting the dissolution process of ionic compounds in water

Beatriz Crujeiras Pérez / Facultad de Ciencias de la Educación, Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidade de Santiago de Compostela



resumen

En este artículo se presenta una experiencia sobre la disolución de compuestos iónicos a través de la modelización. Se llevó a cabo con alumnado del máster de profesorado de educación secundaria que cursaba la asignatura de Didáctica de la Física y la Química. El alumnado debía elaborar un modelo teórico y otro material que explicase el proceso de disolución del cloruro de sodio en agua y a continuación evaluar la calidad de los modelos elaborados, en función de una serie de criterios previamente establecidos.

palabras clave

Modelización, solvatación, educación secundaria, formación profesorado.

resum

En aquest article es presenta una experiència sobre la dissolució de compostos iònics mitjançant la modelització. Es va dur a terme amb alumnat del màster de professorat d'educació secundària que cursava l'assignatura de didàctica de la física i la química. L'alumnat havia d'elaborar un model teòric i un altre de material que expliqués el procés de dissolució del clorur de sodi en aigua i avaluar a continuació la qualitat dels models elaborats, en funció d'una sèrie de criteris prèviament establerts.

paraules clau

Modelització, solvatació, educació secundària, formació professorat.

abstract

In this article we present an experience about the dissolution of ionic compounds through scientific modelling. It was conducted in the master's degree of secondary teaching and with students attending a didactics of Physics and Chemistry course. The students were required to elaborate theoretical and physical models to explain the process of dissolution of sodium chloride in water and, after that, evaluating the quality of the developed models, by means of some criteria previously established.

keywords

Modelling, solvation, secondary education, teacher education.

Introducción

En este artículo se presenta una experiencia de aprendizaje en la formación inicial de profesorado de secundaria sobre la disolución de compuestos iónicos a través de la modelización. El trabajo se enmarca en el enfoque de enseñanza de las ciencias a través del desarrollo de competencias científicas y en particular se centra en la competencia de explicar fenómenos científicos (OECD, 2016), la cual requiere, entre otras operaciones, la identificación, uso y elaboración de modelos explicativos y representaciones. De todos los aspectos implicados en el desarrollo de esta competencia científica, en esta experiencia se examina la capacidad del alumnado para aplicar el conocimiento científico de forma adecuada y para usar y elaborar modelos explicativos y representaciones.

La modelización es muy relevante en la enseñanza y aprendizaje de la química, una disciplina que está dominada por el uso de modelos, ya que para la comprensión de los fenómenos es casi imprescindible utilizar representaciones submicroscópicas o modelos (Oversby, 2000).

Existen múltiples definiciones de *modelo*, pero en este trabajo utilizamos la propuesta por Gilbert, Boulter y Elmer (2000) según la cual un modelo es una representación parcial de un objeto, evento, proceso o idea, creado con un objetivo específico. Los modelos se utilizan para representar un sistema objeto de estudio o partes de éste, como ayuda en el desarrollo de preguntas y explicaciones, para generar datos que puedan ser utilizados para elaborar predicciones y/o para comunicar ideas. Así, el uso de modelos permite explicar de forma razonada fenómenos imperceptibles, los cuales resultan muy abstractos

para el alumnado (Louca y Zacharia, 2012).

Dentro de la modelización, cabe esperar que el alumnado evalúe y refine modelos a través de un ciclo interactivo de comparaciones de sus predicciones con el mundo físico y ajustándolas para obtener información sobre el fenómeno modelado (NRC, 2013). Sin embargo, son numerosas las dificultades que experimenta el alumnado para construir y aplicar modelos en el aula de química. Entre ellas se encuentran los problemas para relacionar los modelos presentados con las situaciones reales que se están modelizando (Martinand, 1986) o el distinguir las ideas que subyacen de un modelo y los datos que apoyan o refutan su utilidad (Grosslight *et al.*, 1991). Otros problemas derivan del uso de los modelos casi exclusivamente como modelos de bolas o de la falta de experiencia del alumnado con actividades de modelización (Prins *et al.*, 2009).

En este artículo se presenta una experiencia formativa con futuro profesorado de educación secundaria con el propósito de concienciarlos sobre la relevancia de la construcción y evaluación de modelos en las aulas y de proporcionarles una oportunidad de aprendizaje sobre como introducir la modelización a través de una actividad práctica.

Participantes y contexto

El estudio se realizó con alumnado del máster de profesorado de educación secundaria en la asignatura denominada Didáctica de la Física y la Química. En ella se dedica un tema a la enseñanza y aprendizaje de las competencias y prácticas científicas, dentro de las cuales se incluye la modelización. Los participantes eran dieciocho licenciados y graduados en carreras científicas (química,

biología, física, ingeniería, veterinaria, etc.) y trabajaban en pequeños grupos de tres o cuatro integrantes. En el momento de realizar la actividad, los participantes habían recibido formación sobre el desarrollo de las competencias científicas y sobre las prácticas de indagación, modelización y argumentación, habiendo realizado varios ejemplos de actividades prácticas.

Descripción de la experiencia

La propuesta consiste en la interpretación del fenómeno de la disolución del cloruro de sodio a través de la elaboración y evaluación de modelos teóricos y materiales. Se enmarca en un contexto de la vida cotidiana, en particular en el proceso de cocinado de la pasta, y en ella se abordan diversos contenidos como el enlace químico (iónico y covalente), la disociación de compuestos iónicos, el proceso de solvatación y las interacciones implicadas. El guion de la actividad completa puede consultarse en Crujeiras-Pérez *et al.* (2021). Esta consta de dos partes diferenciadas: la elaboración de modelos y la evaluación de estos que se realizan en pequeños grupos. En la parte de elaboración de modelos, los participantes tienen que construir primero un modelo teórico que explique lo que le ocurre a la sal al añadirla en una olla con agua para cocinar pasta y a continuación construir un modelo material que represente el modelo teórico. Para la elaboración del modelo teórico se les proporciona la siguiente pista: «para ayudarte en la explicación puedes pensar en la fórmula química de la sal y del agua, así como en sus estructuras». Para la elaboración del modelo material cuentan con plastilina de distintos colores.

En la parte de evaluación de modelos, los participantes deben

identificar los aspectos que debe contener un buen modelo para representar adecuadamente el proceso de disolución de la sal en agua, y aplicar esos criterios para seleccionar cuál de los modelos elaborados por los pequeños grupos se ajusta más al fenómeno real. Antes de realizar la fase de evaluación, los participantes han recibido formación sobre distintos criterios que pueden aplicarse para evaluar modelos, como por ejemplo la clasificación de Coll y Treagust (2003) sobre los criterios a tener en cuenta para utilizar un modelo determinado en la enseñanza.

Una vez hecha la selección de criterios, los participantes deben aplicarlos para analizar los modelos elaborados por los distintos grupos. Para finalizar la actividad, se visualiza una simulación del proceso de disolución a nivel microscópico y finalmente cada grupo debe revisar el modelo elaborado indicando los aspectos que deberían modificar para que se acercase al proceso microscópico visualizado.

Ejemplos de la puesta en práctica

Respecto a la primera fase, la elaboración del modelo teórico, el profesorado en formación no tiene problemas para comprender el propósito de la actividad ni para elaborar dicho modelo. En las figuras 1 y 2 se presentan dos ejemplos de modelos teóricos elaborados por los distintos grupos. De las seis propuestas de modelos, se seleccionan estos dos por contener diferencias sustanciales, mientras que el resto se asemejan a alguno de estos dos ejemplos.

En el modelo representado en la figura 1 (modelo teórico a), los participantes manejan conceptos químicos variados, pero no del todo adecuados para la representación que se les solicita. Así representan el proceso de forma-

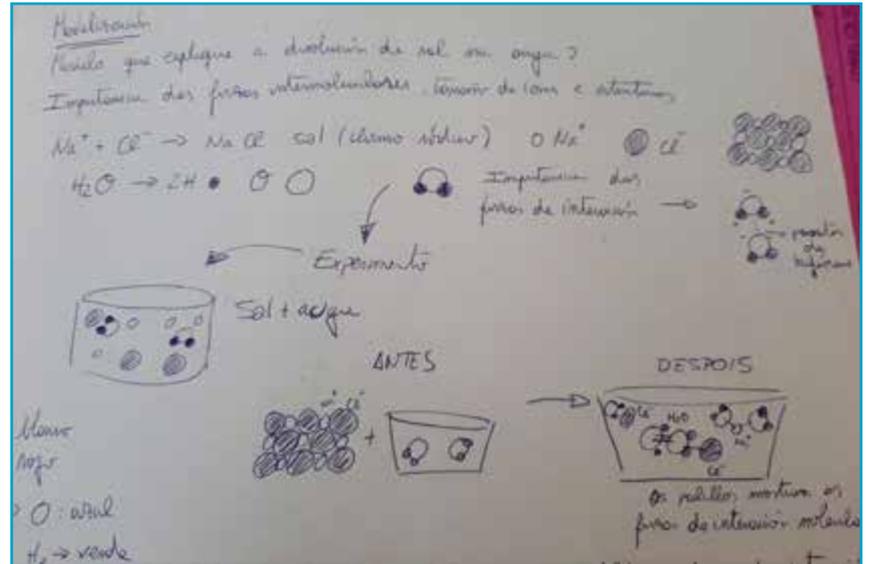


Figura 1. Modelo teórico a.

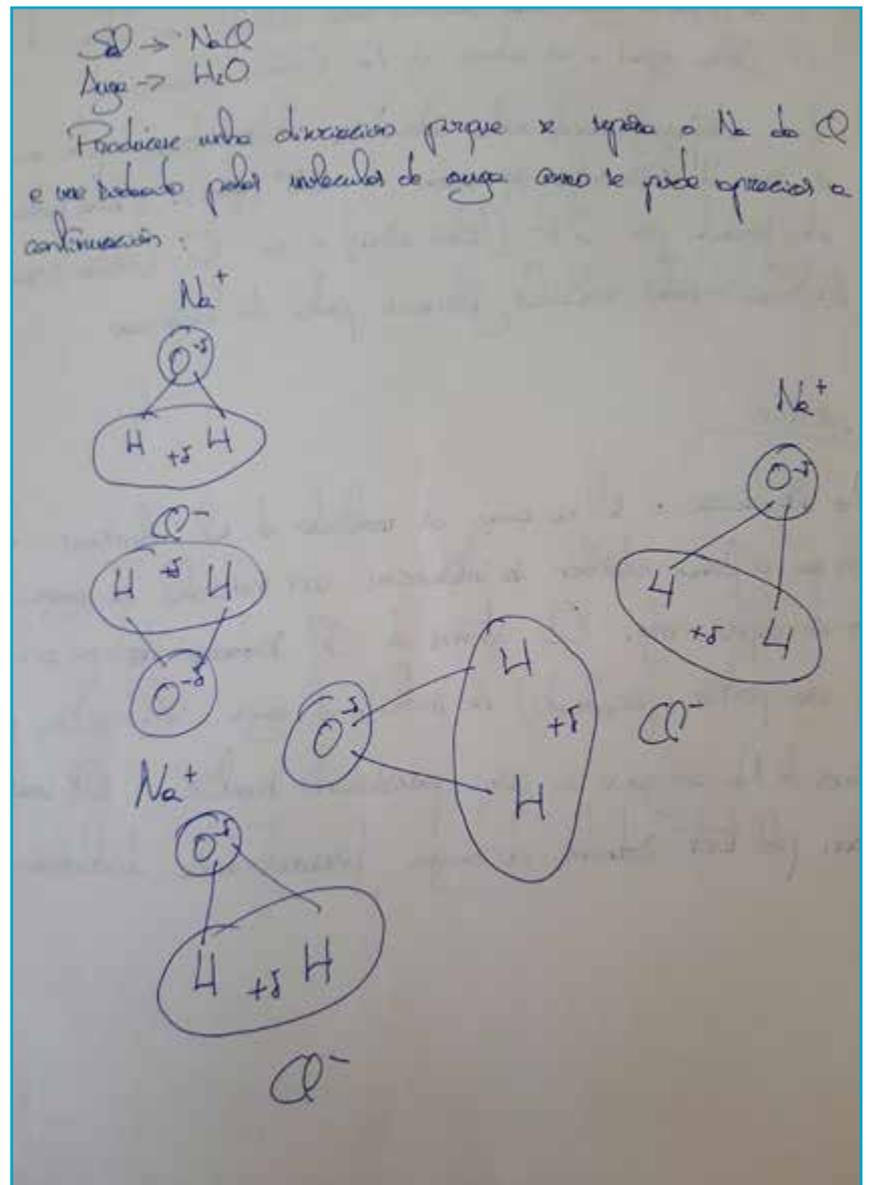


Figura 2. Modelo teórico b.

ción del cloruro de sodio en vez de la disociación y hacen referencia a la importancia de las fuerzas de interacción. En cuanto al modelo teórico que elaboran para representar el proceso de disolución, lo dividen en dos partes: el antes y el después del proceso. En ambos instantes tienen en cuenta la relación entre los radios iónicos del Na^+ y el Cl^- de forma correcta, así como de los radios atómicos del hidrógeno y del oxígeno. No obstante, en la situación inicial (el antes) deciden representar el cloruro de sodio con su estructura cristalina (como una especie de vista superior de una celda cúbica simple), pero en cambio no consideran la estructura del agua. En la situación final, en cambio, incorporan una especie de puente de hidrógeno entre dos moléculas de agua que no se incluye al inicio y que además no sería necesario para representar el proceso de solvatación. Aparte de la representación teórica, incorporan también una explicación escrita a modo de interpretación de su modelo teórico.

En la figura 2 se presenta otro ejemplo de modelo teórico, mucho más simple, el cual solo representa el estado final de la disolución, no el antes y el después. En este caso, los participantes tienen en cuenta las cargas parciales de la molécula de agua y explican el proceso de solvatación para los iones Na^+ y Cl^- de forma correcta.

En cuanto a los modelos materiales, se identifican más variantes en las propuestas que en el caso de los modelos teóricos y, en general, también se observan más anomalías. La mayoría de los grupos no son capaces de trasladar las ideas expresadas en el modelo teórico al modelo material, cometiendo errores conceptuales relacionados con el proceso de disociación del cloruro de sodio y el de solvatación.

Un ejemplo se representa en la figura 3 (modelo material a), en la cual se representa el proceso de solvatación de los iones sin tener en cuenta las densidades de carga de las moléculas de agua, ya que se observa que ambos iones están rodeados de la misma forma por las moléculas de agua. Además, los participantes intentan tener en cuenta los distintos radios iónicos, pero en este caso los representan al revés, siendo más grande el ión Na^+ que el Cl^- .



Figura 3. Modelo material a.

En otro de los modelos materiales, representado en la figura 4, se observa una descripción híbrida del proceso, representando el agua de forma macroscópica como una masa azul y el cloruro de sodio a nivel microscópico. En este modelo no se representa el fenómeno de la solvatación de los iones Na^+ y Cl^- ni tampoco se tienen en cuenta sus radios iónicos.



Figura 4. Modelo material b.

Otro de los ejemplos es el modelo material c, representado en la figura 5. En él se observa una descripción del proceso incorrecta y poco clara. Suponemos que las moléculas de la izquierda representan el antes y las de la derecha del folio el después (proceso de solvatación). En este modelo no se tienen en cuenta los radios iónicos y atómicos, ya que las bolas que representan los distintos iones y átomos son del mismo tamaño. Además, describen el estado

previo de las sustancias a nivel estructural, suponiendo un puente de hidrógeno entre las moléculas de agua, pero mal representado, ya que le falta un átomo de hidrógeno y además esta unión parece que la describen como un enlace químico, utilizando el mismo tipo de elemento (el palillo) que emplean para representar los enlaces covalentes. En cuanto al estado final, representan el proceso de solvatación como una especie de reacción de adición, superponiendo las moléculas de agua a los iones del cloruro de sodio, como si se tratase de una reacción química. Pensamos que, en este caso, la representación a nivel estructural de las sustancias en su estado inicial les dificulta el diseño del proceso de solvatación.

Por último, el modelo material d, descrito en la figura 6, es

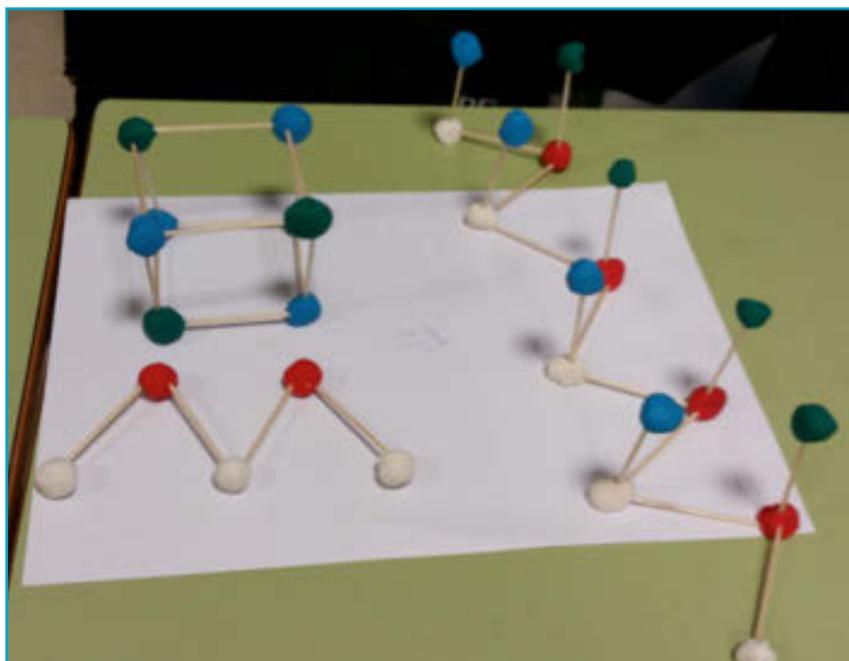


Figura 5. Modelo material c.

mucho más simple que los anteriores, pero intenta representar el proceso de solvatación sin considerar otros factores que dificulten su comprensión. Aún así, este modelo no es del todo correcto, pues, aunque tiene en cuenta los radios iónicos y atómicos de forma correcta, la solvatación no la representan de forma adecuada, ya que la molécula de agua rodea al ión Na^+ por la zona de los átomos de hidrógeno en vez de por la de los de oxígeno. Esto nos indica que no se

tuvieron en cuenta las cargas parciales de la molécula de agua. Además, los participantes cometen un error muy relevante a la hora de describir el modelo, considerando el cloruro de sodio como una molécula en vez de como una estructura cristalina.

En resumen, el alumnado en general presenta dificultades para trasladar el conocimiento teórico al modelo material que explique el proceso de disolución del cloruro de sodio en agua. Además,

también se identifican algunos problemas para interpretar el fenómeno de forma teórica, lo cual puede deberse a la ausencia de andamiaje sobre los aspectos específicos en base a los que se debería elaborar la explicación, por ejemplo, en términos de interacción electrostática entre iones y moléculas de agua.

En la fase de la evaluación de modelos, los participantes utilizaron dos tipos de criterios: a) criterios científicos basados en la estructura y propiedades de las moléculas como el radio iónico, la polaridad y la carga electrostática, y b) otro tipo de criterios como el código de colores utilizado para elaborar los modelos de bolas y la adecuación de los modelos al nivel educativo en el que se va a utilizar (educación secundaria).

A la hora de aplicar los criterios para evaluar los modelos, se identificaron dificultades para alcanzar un consenso entre los grupos, ya que había disparidad de opiniones sobre la calidad de los diferentes modelos. Además, ningún grupo tuvo en cuenta que los modelos tuviesen el mismo número de partículas antes y después del proceso de solvatación.

Después de ver la simulación del proceso de solvatación, todos los grupos coincidieron en que era necesario mejorar todos los modelos para dejar más claro este proceso, rodeando los iones Na^+ y Cl^- con las moléculas de agua.

Conclusiones

De la realización de esta experiencia con el profesorado en formación, se extrae que los participantes tienen facilidad para elaborar el modelo teórico que permite explicar el proceso de disolución del cloruro de sodio en agua, aunque con algunas anomalías, pero encuentran dificultades para transformar este modelo teórico en un modelo material.

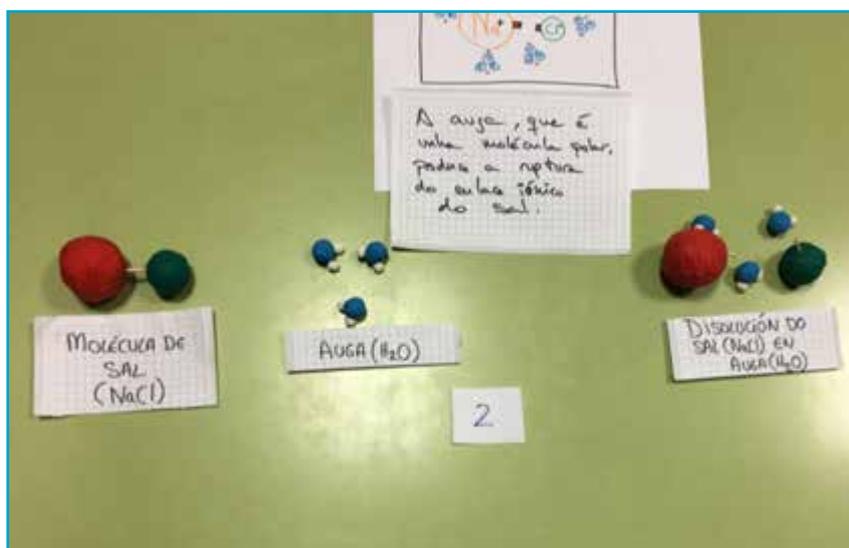


Figura 6. Modelo material d.

Otro de los aspectos a señalar son las dificultades para establecer criterios comunes que permitan evaluar la adecuación de los modelos materiales, así como para ajustar el modelo al nivel de conocimiento del alumnado de educación secundaria.

Como aspectos positivos, cabe señalar que los participantes al final de la experiencia son conscientes de la necesidad de mejorar el modelo material para poder utilizarlo en la educación secundaria y de la relevancia y utilidad del uso de modelos claros para explicar fenómenos de la vida cotidiana.

En esta experiencia observamos que el conocimiento científico tan necesario para llevar a cabo esta práctica no es lo que limita la realización satisfactoria de la tarea, porque estamos trabajando con licenciados y graduados en carreras científicas como física, química, biología, etc., los cuales tienen idea de cómo ocurren las interacciones entre las distintas sustancias químicas. A diferencia de lo que puede ocurrir con alumnado de educación secundaria, generalmente con conocimiento más difuso, los participantes sí son capaces de explicar científicamente el proceso, pero no son capaces de materializar estas ideas en un modelo que permita explicar el fenómeno en cuestión. Este hecho lo relacionamos con su falta de experiencia en la realización de actividades de modelización sobre cuestiones cotidianas. Por lo tanto, consideramos que es necesario realizar una mayor inmersión del profesorado en formación en la modelización, para poder utilizarla de forma satisfactoria en sus futuras aulas.

Agradecimientos

A los participantes en el estudio. Trabajo financiado por FEDER/Ministerio de Ciencia,

Innovación y Universidades, Agencia Estatal de Investigación / Proyecto EDU2017-82915R.

Referencias

- COLL, R. K.; TREAGUST, D. F. (2003). «Investigation of Secondary School, Undergraduate, and Graduate Learners' Mental Models of Ionic Bonding». *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 40, n.º 5, p. 464-486.
- CRUJEIRAS-PÉREZ, B.; BROCOS MOSQUERA, P.; CASAS-QUIROGA, L.; CAMBEIRO CAMBEIRO, F. (2021). *Actividades para desarrollar el conocimiento epistémico implicado en las prácticas científicas en la educación secundaria* [en línea]. Santiago de Compostela: Servicio de Publicaciones e intercambio científico, Universidade de Santiago de Compostela. <<https://dx.doi.org/10.15304/op.2021.1406>> [Consulta: 10 enero 2022].
- GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J.; ELMER, R. (2000). «Positioning Models in Science Education and in Design and Technology education». En: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (ed.). *Developing models in science education*. Dordrecht: The Netherlands: Kluwer, p. 3-17.
- GROSSLIGHT, L.; UNGER, C.; JAY, E. (1991). «Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts». *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 28, n.º 9, p. 799-822.
- LOUCA, L. T.; ZACHARIA, Z. C. (2012). «Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions». *Educational Review*, vol. 64, n.º 4, p. 471-492.
- MARTINAND, J. L. (1986). «Enseñanza y aprendizaje de la modelización». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 4, n.º 1, p. 45-50.
- NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press. Disponible en línea en: <<https://www.nap.edu/catalog/18290/next-generation-science-standards-for-states-by-states>> [Consulta: 10 enero 2022].
- OCDE (2016). PISA 2015 [en línea]. Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy. París: OECD Publishing. <<https://www.oecd.org/publications/pisa-2015-assessment-and-analytical-framework-9789264281820-en.htm>> [Consulta: 10 enero 2022]
- OVERSBY, J. (2000). «Models in explanations of chemistry: The case of acidity». En: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (ed.). *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer, p. 227-251.
- PRINS, G. T.; BULTE, A. M. W.; VAN DRIEL, J. H.; PILOT, A. (2009). «Students' Involvement in Authentic Modelling Practices as Contexts in Chemistry Education». *Research in Science Education*, vol. 39, p. 681-700.



Beatriz Crujeiras Pérez

Licenciada en Química y doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universidad de Santiago de Compostela (USC). Profesora en la Facultad de Ciencias de la Educación de la USC. En la actualidad investiga sobre la influencia del conocimiento epistémico en el aprendizaje de las ciencias a través de las prácticas científicas. C. e: beatriz.crujeiras@usc.es