



Análisis de la comprensión y razonamiento epistémico de los estudiantes sobre los equilibrios de solubilidad

Analysis of Students' Epistemic Reasoning and Understanding of the Solubility Equilibrium

M. Consuelo Domínguez Sales
*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales,
Facultad de Magisterio, UV*
consuelo.dominguez-sales@uv.es • <https://orcid.org/0000-0001-9820-4543>

Oskar González-Mendia
Departamento de Pintura, Facultad de Bellas Artes (UPV/EHU)
oskar.gonzalezm@ehu.es • <https://orcid.org/0000-0001-6495-1815>

Jenaro Guisasola
*Departamento de Física Aplicada,
Universidad del País Vasco (UPV/EHU)*
jenaro.guisasola@ehu.es • <https://orcid.org/0000-0002-0817-3905>

Daniel Zuazagoitia
*Departamento de Didáctica de la Matemática y las Ciencias
Experimentales, Facultad de Educación y Deporte (Sección Magisterio)
(UPV/EHU)*
daniel.zuazagoitia@ehu.es • <https://orcid.org/0000-0001-9954-7855>

RESUMEN • Los equilibrios de solubilidad constituyen un contenido esencial del currículum educativo de química introductoria. Para detectar las dificultades de aprendizaje del alumnado respecto a la forma en que se alcanza dicho equilibrio y qué sucede durante este proceso, se ha diseñado un cuestionario de preguntas abiertas. Las respuestas se analizaron mediante un análisis fenomenográfico, lo que permitió definir categorías interpretativas del conjunto del alumnado. El análisis epistemológico de los argumentos ofrece «explicaciones intermedias» entre ideas ingenuas e ideas científicas, además de respuestas fragmentadas e inconsistencia interna. Los resultados muestran que la comprensión de los equilibrios de solubilidad se ve dificultada por deficiencias en la comprensión de los conceptos de equilibrio, solubilidad de una sal y saturación de la disolución, así como los problemas para relacionarlos.

PALABRAS CLAVE: Equilibrios de solubilidad; Solubilidad; Saturación; Curvas de solubilidad; Categorías explicativas.

ABSTRACT: • Solubility equilibria constitute an essential content of the introductory chemistry curriculum. To detect students' learning difficulties regarding how such equilibrium is reached and what happens during this process, an open-ended questionnaire was designed. The answers were analysed by means of a phenomenographic analysis, which made it possible to define interpretative categories of the student body. The epistemological analysis of the arguments offers «intermediate explanations» between naive and scientific ideas, as well as fragmented answers and internal inconsistency. Our results show that the understanding of solubility equilibria is hampered by deficiencies in the understanding of the concepts of equilibrium, salt solubility and saturation of a solution as well as by difficulties to relate all these concepts.

KEYWORDS: Solubility equilibria; Solubility; Saturation; Solubility curves; Explanatory categories.

Recepción: agosto 2022 • Aceptación: enero 2023

INTRODUCCIÓN

Los equilibrios de solubilidad están presentes tanto en fenómenos de la vida cotidiana (formación de estalactitas o residuos calcáreos en tuberías) como en los relativos a la salud (caries o problemas renales). En los laboratorios de química son necesarios para identificar iones, predecir la formación de precipitados al mezclar disoluciones o separar sustancias mediante la técnica de precipitación fraccionada. Por ello, conocer las dificultades de comprensión que su estudio genera en los estudiantes es fundamental para diseñar el currículum de los cursos introductorios de Química General.

Diferentes investigaciones han señalado la existencia de dificultades en la comprensión de los equilibrios de solubilidad (Onder y Geban, 2006; Setiowati et al., 2018), y han mostrado que su estudio no es trivial (Raviolo, 2001). Pese a ello, la enseñanza tradicional se centra más en la resolución de problemas cuantitativos que en la comprensión significativa de los conceptos implicados y la relación entre ellos (Nakhleh, 1993; Bilgin et al., 2009).

El presente estudio añade a las investigaciones ya realizadas sobre los equilibrios de solubilidad un análisis sobre la necesidad de ligar el estudio de este proceso con la comprensión de los conceptos de solubilidad de una sal y saturación de una disolución, así como la relación entre ambos. Para llevarlo a cabo nos hemos basado en la teoría constructivista de aprendizaje, en particular, en el enfoque de teoría marco, que defiende empíricamente que los estudiantes de química elaboran sus ideas mediante un proceso de razonamiento epistémico hasta alcanzar la comprensión de un concepto (Vosniadou, 2012). Conocer mejor las concepciones de los estudiantes y sus modelos epistémicos «intermedios» sobre el tema permitirá elaborar actividades que les salgan al paso y se puedan utilizar en los programas de enseñanza basados en las metodologías activas que proponen los actuales currículos educativos (Tahirsylaj et al., 2015).

La siguiente sección muestra una revisión de la literatura existente sobre dificultades de comprensión de los conceptos de solubilidad y equilibrios de solubilidad y plantea las preguntas que dejan abiertas y generan esta investigación. A continuación, se explican el marco teórico y la metodología utilizada, para luego pasar al contexto de la investigación, el cuestionario utilizado, sus objetivos y las razones aceptadas como válidas. Finalmente, se muestran los resultados obtenidos y la evidencia de las categorías definidas para finalizar con las conclusiones del trabajo.

ESTUDIOS PREVIOS SOBRE DIFICULTADES DEL ALUMNADO EN LA COMPRENSIÓN DEL CONCEPTO DE SOLUBILIDAD Y LOS EQUILIBRIOS DE SOLUBILIDAD

Los equilibrios de solubilidad constituyen un tema abstracto y de difícil comprensión porque requieren un adecuado manejo de las disoluciones (Çalik et al., 2010; Prieto et al., 1989), de los conceptos que estas implican (Dahsah y Coll, 2007) y de otras ideas básicas subyacentes. Posteriormente, se ofrece una revisión de la literatura referente a las dificultades relativas a la solubilidad, al concepto de equilibrio y a los equilibrios de solubilidad.

Dificultades de comprensión de los conceptos de solubilidad y saturación

Diferentes trabajos han mostrado dificultades de comprensión del concepto de solubilidad entre los estudiantes de secundaria, que consideran que un aumento del disolvente aumenta la solubilidad de la sal (Blanco y Prieto, 1997; Uzuntiryaki y Geban, 2005), tal vez porque observan que añadir más agua a una disolución permite disolver más cantidad de sólido. También se han manifestado dificultades entre el profesorado, como no tener en cuenta el efecto de la temperatura sobre la solubilidad (Onder y Geban, 2006).

El concepto de saturación es otra fuente de problemas de comprensión, tanto en estudiantes de bachillerato (Adadan y Sabasci, 2012) como en universitarios de primer año de grados de ciencias e ingeniería (Mulford y Robinson, 2002), que consideran que una disolución saturada se convierte en sobresaturada cuando se evapora parte de esta, o bien que una disolución que contiene soluto sin disolver en el fondo está sobresaturada (Adadan y Sabasci, 2012). Ante esta situación de soluto en el fondo sin disolver, alumnos universitarios afirmaron que quedaría una disolución saturada al filtrar la disolución (Pinarbasi y Campolat, 2003). En otros trabajos manifestaron que su concentración aumentaría al añadir más soluto a la disolución (Mulford y Robinson, 2002; Krause y Tasooji, 2007; Krause y Isaacs-Sodeye, 2013).

Algunos autores han apuntado que la dificultad de comprensión del fenómeno de la saturación podría derivar de una deficiente comprensión conceptual (Krause y Tasooji, 2007), como muestra el hecho de que a los estudiantes les resulte más fácil calcular la solubilidad que explicar su significado (Muchson et al., 2020), en línea con los trabajos que afirman que la capacidad de resolver problemas matemáticos no presupone la comprensión de los conceptos ocultos tras estos (Nakhleh, 1993; Nurrembern y Pickering, 1987; Sawrey, 1990; Johnstone, 2010).

Otra dificultad manifestada por estudiantes de secundaria es la confusión entre las disoluciones saturadas e insaturadas y las disoluciones concentradas y diluidas. Çalik (2005) opina que la causa puede ser su uso en el lenguaje diario; Adadan y Savasci (2012) lo achacan a la complejidad del concepto de concentración a nivel simbólico, y otros autores aducen el hecho de que se trata de una propiedad intensiva que, además, hace uso de la proporcionalidad inversa para el volumen de la disolución (Stavy, 1981; Johnstone, 2010; De Berg, 2012; Raviolo et al., 2022).

Dificultades en la comprensión del concepto de equilibrio

El equilibrio químico es difícil de asimilar tanto por su abstracción (Tyson et al., 1999; Kousathana y Tsaparlis, 2002) como por la tendencia del alumnado a aplicar los conceptos implicados, memorizando algoritmos sin una comprensión real (Quílez, 2004). Además, la experiencia previa con reacciones completas genera dificultades para comprender las reacciones de equilibrio (Hackling y Garnett, 1985; Pedrosa y Dias, 2000) y para diferenciar entre ambas (Wheeler y Kass, 1978). Algunos alumnos no pueden entender que, en el equilibrio, la reacción directa deje de avanzar, a pesar de la existencia de reactivos (Hernando et al., 2003), y otros creen que se dan proporciones aritméticas entre las concentraciones de reactivos y productos (Gorodetsky y Gussarsky, 1986; Hackling y Garnett, 1985).

La variación de las velocidades de ambas reacciones plantea muchos problemas al alumnado. Algunos consideran que la velocidad de la reacción directa aumenta con el tiempo, desde que se mezclan los reactivos hasta alcanzar el equilibrio (Hackling y Garnett, 1985); otros confunden la velocidad con el alcance de la reacción (Wheeler y Kass, 1978), mientras que otros suponen que la reacción inversa no comienza hasta que no se agotan los reactivos de la reacción directa (Gorodetsky y Gussarsky, 1986; Wheeler y Kass, 1978; van Driel et al., 1998), por lo que olvidan que en el equilibrio las dos reacciones tienen lugar simultáneamente.

La dificultad para relacionar los diferentes niveles de interpretación supone otro obstáculo importante. Así, el alumnado de secundaria que, a nivel macroscópico sabe que el soluto molido se disuelve más rápidamente, no es capaz de visualizar en el nivel de estudio submicroscópico, la interacción entre las partículas del soluto y el disolvente (Çalik, 2005), no sabe dibujar sus posiciones relativas en la disolución (Çalik et al. 2005; Devetak et al., 2009), mantiene el modelo de continuidad que se aprecia a nivel macroscópico (Prieto et al., 1989) o no tiene en cuenta que las partículas están en continuo movimiento (Lee et al., 1993). Precisamente, esta falta de percepción del movimiento continuo de las partículas es una de las que interfiere en la idea del equilibrio dinámico, lo que lleva a pensar, tanto a

estudiantes de bachillerato (Gorodetsky y Gussarsky, 1986; Gussarsky y Gorodetsky, 1990) como a universitarios (Thomas y Schwenz, 1998), que cuando se alcanza el equilibrio no se produce ninguna reacción.

Dificultades en la comprensión de los equilibrios de solubilidad

Numerosas investigaciones han señalado la existencia de dificultades en la comprensión de los equilibrios de solubilidad, aunque se han centrado fundamentalmente en el estudio de problemas numéricos relacionados con el producto de solubilidad (Setiowati et al., 2018; Nakiboğlu y Nakiboğlu, 2019; Muchson et al., 2020).

Los estudios que se centran en el proceso del equilibrio inciden en la falta de comprensión de la variación de velocidades de las reacciones directa e inversa. En unos casos, los estudiantes manifiestan que no hay reacción de precipitación antes del equilibrio, que la velocidad de disolución aumenta con el tiempo desde que se mezcla el sólido con el disolvente hasta que se establece el equilibrio, que la disolución se detiene al alcanzar el equilibrio o incluso que en el equilibrio no hay precipitación ni disolución (Onder y Geban, 2006; Cam y Geban, 2013).

En cuanto a las posibles causas de las dificultades, algún autor señala que los equilibrios de solubilidad suman a las dificultades de comprensión del equilibrio la de los cálculos que conllevan (Onder y Geban, 2006), la necesidad de comprender la relación entre los conceptos de solubilidad y disolución saturada (Setiowati et al., 2018) o la incapacidad para diferenciar entre equilibrio químico y equilibrio físico (Tyson et al., 1999), cuestión crucial ya que, en los últimos, a una temperatura determinada, la saturación de la disolución no permite que aumente su concentración, aunque se adicione más sólido a la mezcla en equilibrio, situación que no se produce en el equilibrio químico.

Las dificultades detectadas no solo incluyen contenidos conceptuales, sino también razonamientos incompletos y, con frecuencia, la ausencia de argumentos basados en la metodología científica. Estos elementos epistemológicos y ontológicos se deben tener en cuenta, puesto que no se puede esperar que el alumnado asimile los contenidos conceptuales si no se tienen en consideración los aspectos procedimentales y ontológicos (Chi et al., 1994). Así pues, en este estudio hemos planteado la comprensión de los elementos epistemológicos en el razonamiento como construcción del conocimiento mediante la repetición de los procesos científicos. Se consideran razonamientos epistemológicamente favorables a los objetivos del currículo aquellos que razonan a partir de los datos aportados en la pregunta, el conocimiento previo de la teoría, la comprobación de los supuestos que hacen argumentando con evidencias, así como la preocupación por la coherencia explicativa. Aunque se pueden definir más elementos epistemológicos de la actividad científica, aquí mencionamos los que han guiado el análisis de las cuestiones propuestas en esta investigación (Hammer, 1994; Hofer y Pintrich, 1997; Guisasola et al., 2008).

Para evitar las dificultades expuestas, Raviolo (2001) aconseja acostumbrar a los estudiantes a establecer conexiones apropiadas entre conceptos y describir los fenómenos en los tres niveles de representación. Los libros de texto, sin embargo, presentan los contenidos en capítulos diferentes, sin aludir, en muchas ocasiones, a la relación entre ellos. Por ejemplo, el texto de Química Introductoria de Chang et al. (2010) utiliza la definición cuantitativa de la solubilidad en el capítulo 4 (p. 125), para predecir la formación de un precipitado. En el capítulo 12 define los tipos de disoluciones (p. 514) y ofrece la definición cualitativa de solubilidad (p. 516) y las curvas de solubilidad (p. 521). Finalmente, estudia los equilibrios de solubilidad en el capítulo 16 (p. 735). Esta falta de relación puede llevar al alumnado a considerar que no existe conexión entre ellos, cuando en realidad están todos interrelacionados, como muestra la figura 1.

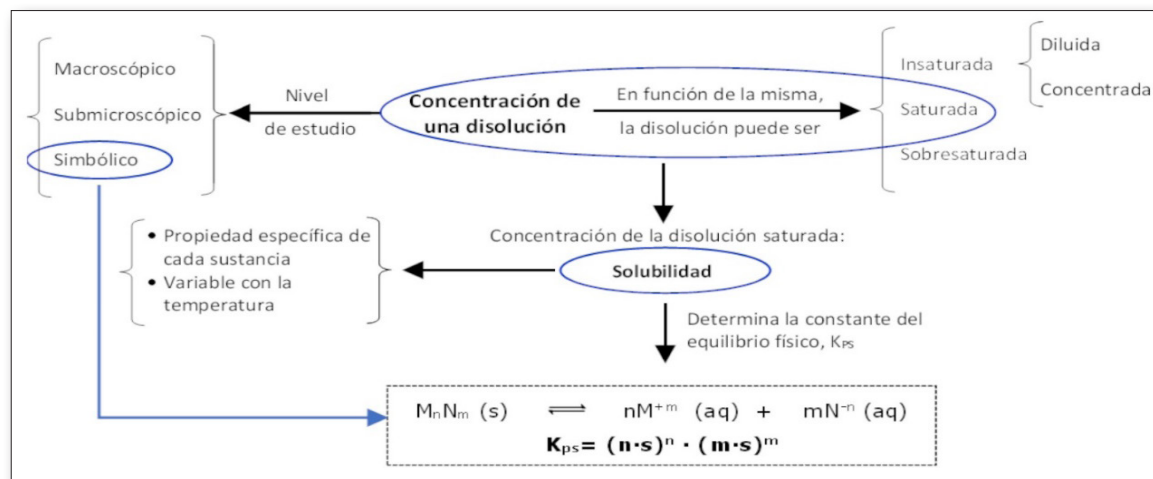


Fig. 1. Interrelación entre conceptos relativos a los equilibrios de solubilidad.

Los estudios revisados muestran que hay pocas investigaciones centradas en la comprensión de los equilibrios de solubilidad y los conceptos subyacentes, por lo que en este trabajo nos planteamos las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cómo entienden los estudiantes los equilibrios de solubilidad y qué razonamientos epistemológicos utilizan para explicarlos?
- ¿Entienden el papel que juegan en estos los conceptos de solubilidad de una sal y de saturación de una disolución? ¿Son capaces de establecer la relación entre todos ellos?

MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

La metodología utilizada para responder a las preguntas de investigación se basa en la teoría socio-constructivista del aprendizaje, entendida como construcción del conocimiento (Driver, 1989), que reconoce las formas de expresión oral y escrita como instrumentos de medición entre el plano social y el personal (Vygotsky, 1978; Wandersee et al., 1994; Taber, 2006; Leach y Scott, 2008). Nuestro trabajo enfoca el aprendizaje en términos de desarrollo de un razonamiento causal complejo y un proceso de modelado riguroso (Scott et al., 2008). Las concepciones de los estudiantes se describen tanto en términos de su interpretación sobre el fenómeno estudiado como del razonamiento utilizado para comprenderlas (Vosniadou, 2012).

De acuerdo con el marco teórico descrito, para indagar sobre las dificultades de los estudiantes, este trabajo utiliza un cuestionario de preguntas abiertas. Para responderlas es necesario utilizar un razonamiento creativo, basado en contenidos científicos, frente a un razonamiento imitativo, memorizado, basado en un algoritmo o en propiedades superficiales (Lithner, 2008). Por ello, se ha animado al alumnado a responder sin limitaciones de espacio.

Ha participado en la investigación una muestra de conveniencia formada por dos grupos de diferente nivel. Por una parte, 185 estudiantes de bachillerato (en adelante EB) de diferentes institutos de la Comunidad Valenciana, cuyos resultados se ofrecen agrupados, dado que el estadístico chi cuadrado no ha ofrecido diferencias significativas en las frecuencias de las diferentes categorías. Por otra parte, 97 estudiantes de primer curso del grado en Física (en adelante EU), que cursaban la asignatura Química II en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UPV/EHU. Todos ellos cumplimentaron el cuestionario en periodo de clase, dos semanas después de haber estudiado el tema «Equilibrios de solubilidad» durante el curso académico 2017-2018.

El método utilizado para examinar las respuestas ha sido el análisis fenomenográfico, considerado como una forma consistente para describir y explicar la variación en las concepciones del alumnado (Marton, 1981; Marton y Booth, 1997), mediante métodos cualitativos, con entrevistas y/o cuestionarios de preguntas abiertas, y que ha sido ampliamente utilizado en la investigación sobre didáctica de la química (Ebenezer y Erickson, 1996; Ebenezer y Fraser, 2001; Çalik, 2005).

Las respuestas de los estudiantes se han analizado en conjunto, considerando las diferentes formas de percibir y entender la realidad como categorías que la describen (Marton, 1981), y se han categorizado según criterios fenomenográficos: *a)* cada categoría revela algo distintivo sobre una forma de entender el tema en cuestión; *b)* las categorías están lógicamente relacionadas, típicamente como una jerarquía estructuralmente inclusiva de relaciones; *c)* la variación crítica de la experiencia observada en los datos está representada por un conjunto de categorías lo más pequeño posible (Marton y Booth, 1997, pp. 125-126). Para determinarlas, uno de los investigadores generó un borrador con las categorías obtenidas en cada cuestión a partir de las respuestas de los estudiantes. La comparación de estas categorizaciones con las de otros dos investigadores ofreció un elevado consenso con un coeficiente kappa de Cohen de 0,88, lo que indica una alta fiabilidad. Las diferencias en las descripciones de las categorías o en la colocación de las respuestas se resolvieron a partir de la única evidencia de la comprensión manifestada por el estudiante en su respuesta. Las categorías finales se definieron mediante un proceso iterativo de consenso. El conjunto de categorías nos ha permitido ampliar el conocimiento del proceso de comprensión de los fenómenos analizados (Rivard, 1994), al tiempo que ha servido para explicitar el razonamiento epistémico que justifica esta comprensión (Prain y Hand, 1999).

DISEÑO EXPERIMENTAL

El instrumento utilizado ha sido un cuestionario de preguntas abiertas. Se trata de un tipo de preguntas muy apropiado porque, además de responder, el alumnado debe justificar su respuesta, lo que permite identificar las concepciones alternativas junto a sus razones subyacentes (Treagust, 1988). Para su validación se recabó la opinión de tres profesores universitarios y tres de educación secundaria que impartían estos niveles educativos y que consideraron adecuados tanto los objetivos como los contenidos. Las sugerencias propuestas se recogieron en una segunda versión, que mantenía los objetivos iniciales y fue utilizada en un estudio piloto con 30 estudiantes de cada nivel, que consideraron que las cuestiones eran claras y comprensibles.

Descripción del cuestionario

El cuestionario está formado por seis cuestiones abiertas, que se describen a continuación junto a sus objetivos y las explicaciones que debe ofrecer el alumnado. Las tres primeras cuestiones (C1, C2 y C3) se acompañan de una gráfica de curvas de solubilidad de diferentes sales (figura 2). Sus objetivos son indagar si los estudiantes reconocen que cada sustancia posee una curva de solubilidad diferente y saben leer su valor en función de la temperatura y el volumen del disolvente. En la (C1) este valor se lee sobre la propia curva de solubilidad; en la (C2), por debajo de la curva de solubilidad, donde se encuentran las regiones que representan disoluciones no saturadas; y en la (C3), por encima de esta, en la que se representan las disoluciones sobresaturadas (Petrucci et al., 2011, p. 568).

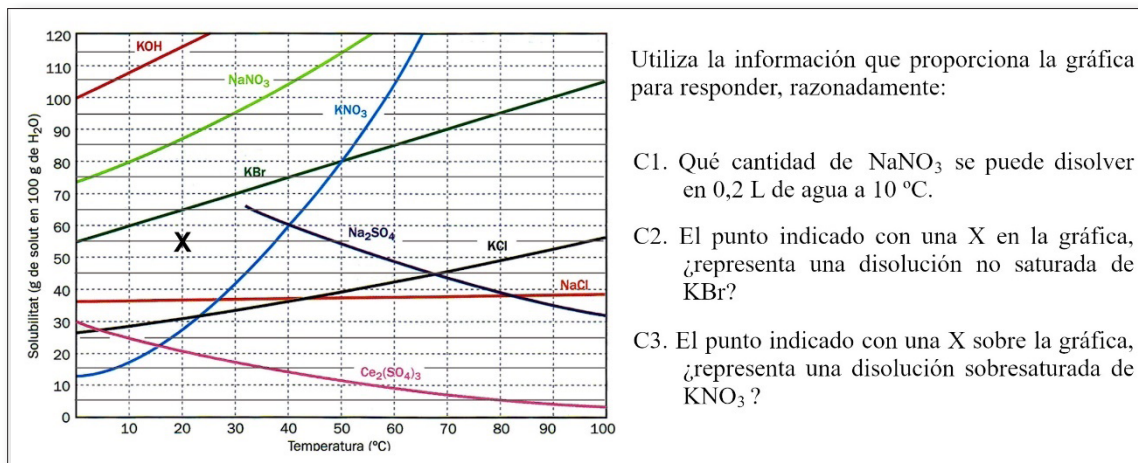


Fig. 2. Cuestiones C1, C2 y C3 y gráfica de solubilidad que las acompaña.

La cuestión cuatro (C4) dice así: «Explica el significado cualitativo del concepto de solubilidad». Su objetivo es averiguar si el alumnado entiende que el concepto responde a la necesidad de disponer de «una medida de la cantidad de soluto que se disolverá en cierto disolvente a una temperatura específica» (Chang, 2010, p. 516), o bien se limitan a la definición cuantitativa, expresada como la «máxima cantidad de un soluto que se disolverá en una cantidad dada de disolvente, a una temperatura específica» (Chang, 2010, p. 125) o como «la concentración de la disolución saturada» (Petrucci et al., 2011, p. 568). Las respuestas permitirán ver si relacionan este concepto con la información que ofrecen las curvas de solubilidad (Chang, 2010, p. 522; Petrucci et al., 2011, p. 568).

La cuestión cinco (C5) analiza el proceso de disolución a nivel macroscópico, mientras que la seis (C6) profundiza en el momento en el que se alcanza el equilibrio. Ambas cuestiones (figura 3) se acompañan de una imagen que muestra tres instantes del proceso.

La imagen representa el proceso de disolución del bromuro de cobre (CuBr) a 25 °C, desde que se añade al agua (1) hasta que ya no se disuelve más (3).

C5. Representa, en cada uno de los tres recipientes, ayudándote de flechas de diferente longitud:

(a) la velocidad de disociación de los iones de la sal y

(b) la velocidad de precipitación de los iones en la disolución.

Justifica brevemente el motivo de tu respuesta.

C6. Explica por qué, llegados al punto (3), la sal no se disuelve más.

Fig. 3. Enunciado de las cuestiones C5 y C6.

El objetivo de la C5 es averiguar si el pensamiento del alumnado sobre las velocidades de disolución y precipitación en esas etapas es asimilable al aceptado en los textos científicos (figura 4) (Petrucci et al., 2011, p. 568).

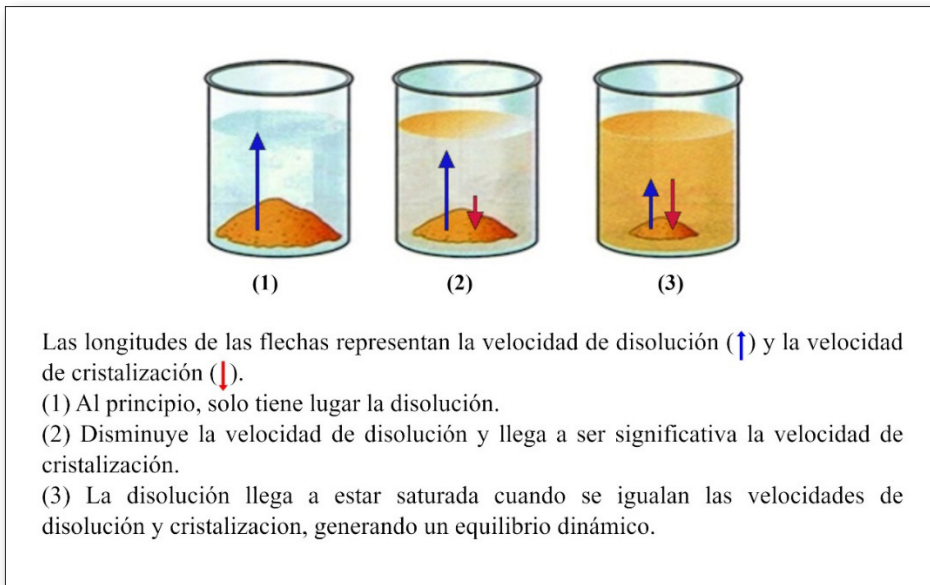


Fig. 4. Explicación de la formación de una disolución saturada (C5).

Finalmente, el objetivo de la C6 (véase figura 3) es averiguar si los estudiantes reconocen que en el tercer recipiente hay una sal en equilibrio físico con su disolución, y si pueden relacionar los conceptos implicados (Petrucci et al., p. 568), como se muestra en la figura 5.

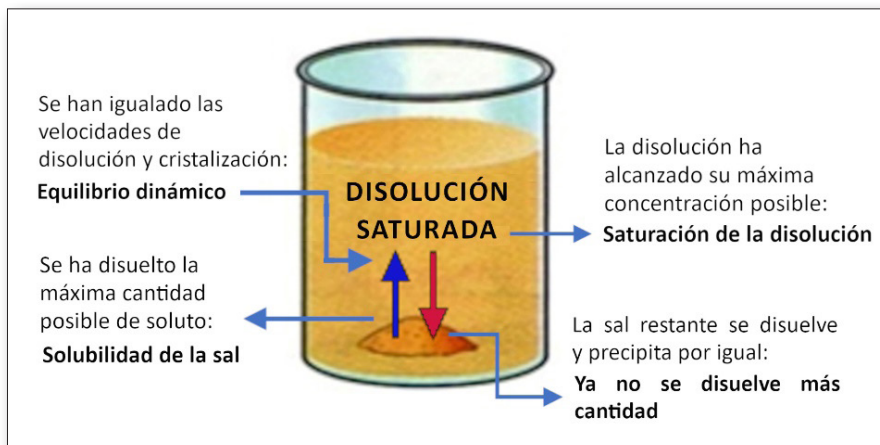


Fig. 5. Conceptos implicados en el equilibrio físico de una sal con su disolución.

RESULTADOS

El análisis de las respuestas del alumnado ha permitido elaborar un conjunto de categorías para cada cuestión. Se ha asignado una letra a cada una de ellas, desde la A, que indica una comprensión correcta de conceptos y razonamientos, hasta respuestas incoherentes sin sentido lógico, pasando por categorías «intermedias» en función del grado de comprensión mostrado y la riqueza de las respuestas.

Los resultados de cada cuestión, con sus correspondientes categorías, se exponen en las figuras 6, 8, 9, 10 y 12. En ellas, tanto los porcentajes de las categorías como de las subcategorías están referidos al total de la muestra.

Interpretación de las curvas de solubilidad

Resultados de la cuestión C1 (véase figura 6)

Categoría A: Respuestas académicamente correctas. El alumno lee correctamente la gráfica, realiza la conversión pertinente para 0,2 l de agua, y obtiene un resultado de 160 g. El elevado número de respuestas correctas manifiesta, en principio, una adecuada comprensión del concepto y del nivel simbólico de expresión matemática.

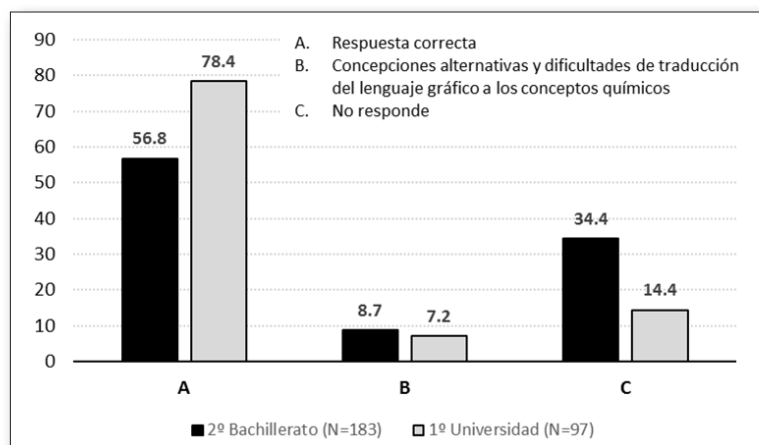


Fig. 6. Categorías y porcentaje de respuestas para cada categoría de la cuestión C1.

Categoría B: Comprensión parcial con concepciones alternativas. Menos del 9 % de las respuestas, que realizan interpretaciones incorrectas de las curvas de solubilidad o manifiestan dificultad para traducir el lenguaje gráfico al lenguaje conceptual químico.

Ejemplos:

Lo mismo que con 0,1 l, valiéndonos de la información de la gráfica podemos observar que su solubilidad es 80 g/ml a 10 °C, si en vez de poner 100 ponemos 200 la solubilidad cambia, pero la cantidad de NaNO_3 no (EU 91).

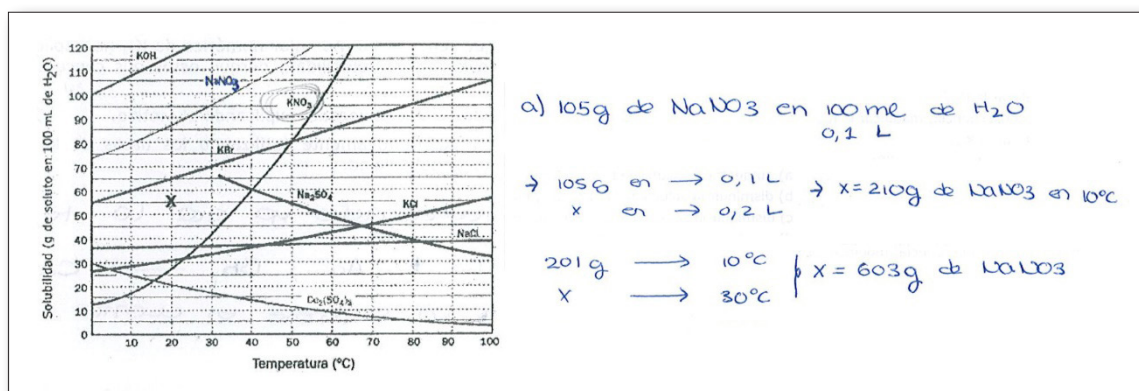


Fig. 7. Respuesta a la C1, cat. B, del alumno EB 215.

Resultados de las cuestiones C2 y C3 (véase figura 8)

C2 y C3 han generado la misma categorización, por lo que sus resultados se ofrecen conjuntamente.

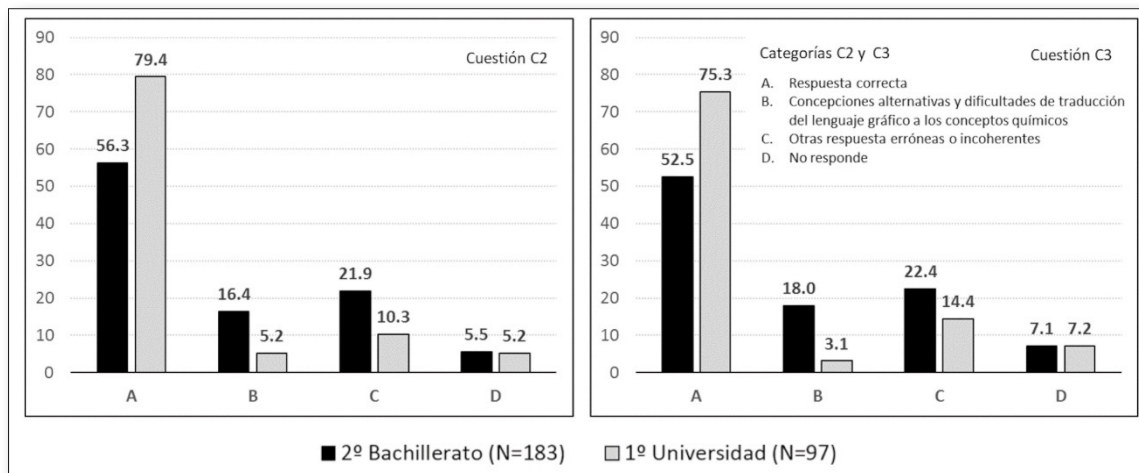


Fig. 8. Categorías y porcentaje de respuestas a las cuestiones C2 (izquierda) y C3 (derecha).

Categoría A: Respuestas que incluyen todos los componentes válidos, bien cualitativos, en función de que la X esté por encima o por debajo de la curva de solubilidad, o bien cuantitativos, que en el caso de C2 supone explicar que en 100 ml de agua a 20 °C se pueden disolver 65 g y solo se han disuelto 55 g, por lo que la X representa una disolución insaturada. En la C3, referente al KNO_3 , se pueden disolver como máximo unos 25 g de la sal en 100 ml de agua a 20 °C, por lo que el valor indicado por X representa una disolución sobresaturada.

Categoría B: Manifiestan comprensión parcial con diferentes concepciones alternativas. Algunas son de tipo conceptual, como confundir la capacidad de disolverse con la velocidad de la disolución (estudiado también por Wheeler y Kass, 1978), o identificar la solubilidad de la sustancia con cualquier valor de la concentración de la disolución. Otros manifiestan errores de trasposición incorrecta del lenguaje gráfico al lenguaje conceptual químico, como asociar el concepto de saturación con la inclinación de la curva.

Ejemplos de categoría B para C2 y C3:

No, porque la KBr mantiene un crecimiento constante y regular a medida que aumenta la temperatura (EB 117; C2, cat. B).

Sí, solo hace falta una solubilidad de 27,5 a 20 °C para que esté saturada y la X marca una solubilidad de 55 (EU 26; C3, cat. B).

Categoría C: Explicaciones sin coherencia lógica en la argumentación.

Ejemplo. Respuesta a la C2:

No está saturada, ya que no se satura, por eso está fuera de la línea (EB 219; C2, cat. C).

Significado atribuido al concepto de solubilidad

Resultados de la cuestión C4 (véase figura 9)

Esta cuestión ha generado un amplio abanico de visiones del alumnado, lo que pone de manifiesto su dificultad para ofrecer una definición conceptual de la solubilidad.

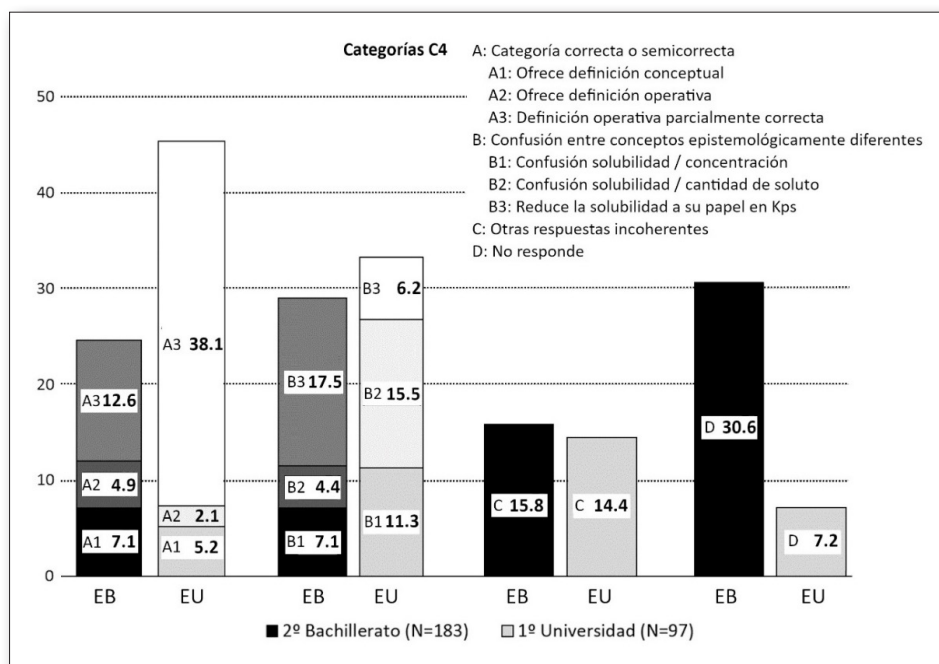


Fig. 9. Categorías y porcentaje de respuestas para la cuestión C4.

Categoría A: Aunque la pregunta solicitaba la definición cualitativa, se han incluido en esta categoría todas las definiciones correctas para la solubilidad, organizadas en tres subcategorías que, en total, no alcanzan el 25 % de los EB y el 50 % de los EU:

- A1. Respuestas que ofrecen la definición cualitativa solicitada.
- A2. Respuestas que ofrecen una definición cuantitativa correcta.
- A3. Respuestas de tipo cuantitativo, que omiten citar la dependencia de la solubilidad respecto de la temperatura.

Ejemplos:

La solubilidad (s) de un compuesto se refiere a la cantidad de ese compuesto que se puede disolver a una determinada temperatura en un determinado volumen de disolvente (EU 19, C4, cat. A2).

La solubilidad se representa con la letra s y es la cantidad máxima (en gramos o moles) que se puede disolver en un volumen concreto. Está relacionado con la K_{ps} (EU 53, C4, cat. A3).

Categoría B: Respuestas que confunden el concepto de solubilidad con otros epistemológicamente diferentes. Agrupan alrededor de un tercio del alumnado, organizado en tres subcategorías:

B1. Identifican la solubilidad con cualquier concentración de la disolución.

B2. Entienden la solubilidad como la cantidad de soluto, en masa, sin considerar el volumen de disolución.

B3. No atribuyen significado propio a la solubilidad, sino que la definen como uno de los términos que aparecen en la definición operativa de K_{ps} .

Ejemplos:

La solubilidad indica los gramos de soluto que se disuelven por un volumen dado de disolvente (EU 26; C4, cat. B1).

La solubilidad son los gramos que se pueden disolver de una sustancia (EB 117; C4, cat. B2).

La solubilidad es los moles partido litros en relación con la K_{ps} (EB 19; C4, cat. B3).

Categoría C: Explicaciones que manifiestan razonamientos imitativos, memorísticos y sin significado ni coherencia lógica. Agrupa alrededor de un 15 % de los alumnos de cada una de las muestras.

Categoría D: No responden a la pregunta, lo que pone de manifiesto cierto déficit cognitivo subyacente respecto al concepto de solubilidad. Recoge casi un tercio de los EB y un 7,2 % de los EU, lo que pone de manifiesto la mejora cognitiva experimentada por el alumnado universitario.

¿Cómo entienden los estudiantes el equilibrio de solubilidad?

Resultados de la cuestión C5 (véase figura 10)

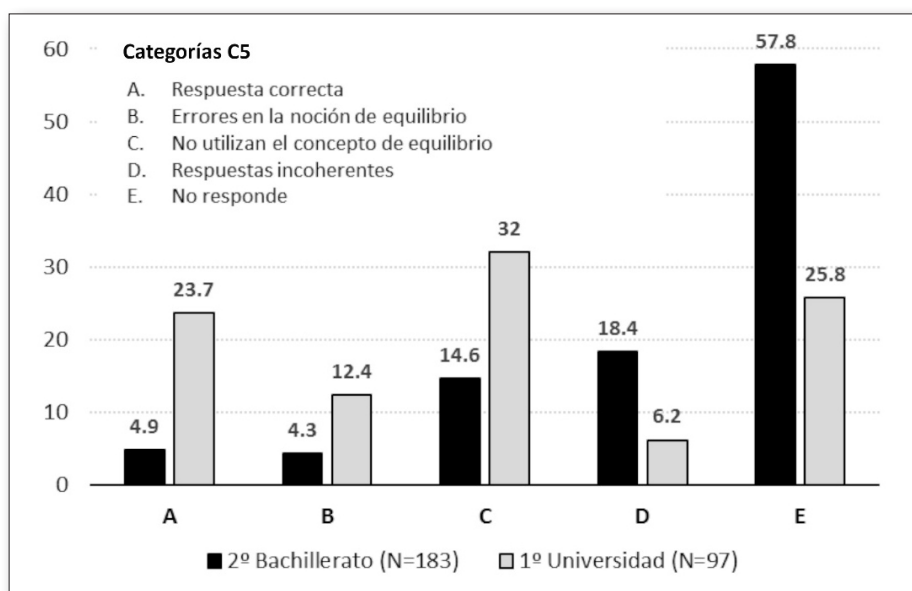


Fig. 10. Categorías y porcentaje de respuestas para cada categoría de la cuestión C5.

Categoría A: Respuestas correctas de acuerdo con la explicación ofrecida en la figura 4. No alcanzan el 5 % de los EB ni el 25 % de los EU, lo que manifiesta una clara mejora de los últimos.

Categoría B: Errores que ponen de manifiesto la falta de comprensión del equilibrio, como verbalizar su existencia sin comprender como se alcanza o situarlo en el recipiente (2).

Ejemplos: Se muestran en la figura 11.

Categoría C: Manifiestan desconocimiento del concepto de equilibrio, así como dificultades epistemológicas con argumentaciones macroscópicas de distintos grados de complejidad, como otorgar al líquido la capacidad para «aceptar» más o menos soluto o confundir entre disolución saturada y sobresaturada. Suponen alrededor del 15 % de los EB y el 30 % de los EU.

Ejemplos: Se muestran en la figura 11.

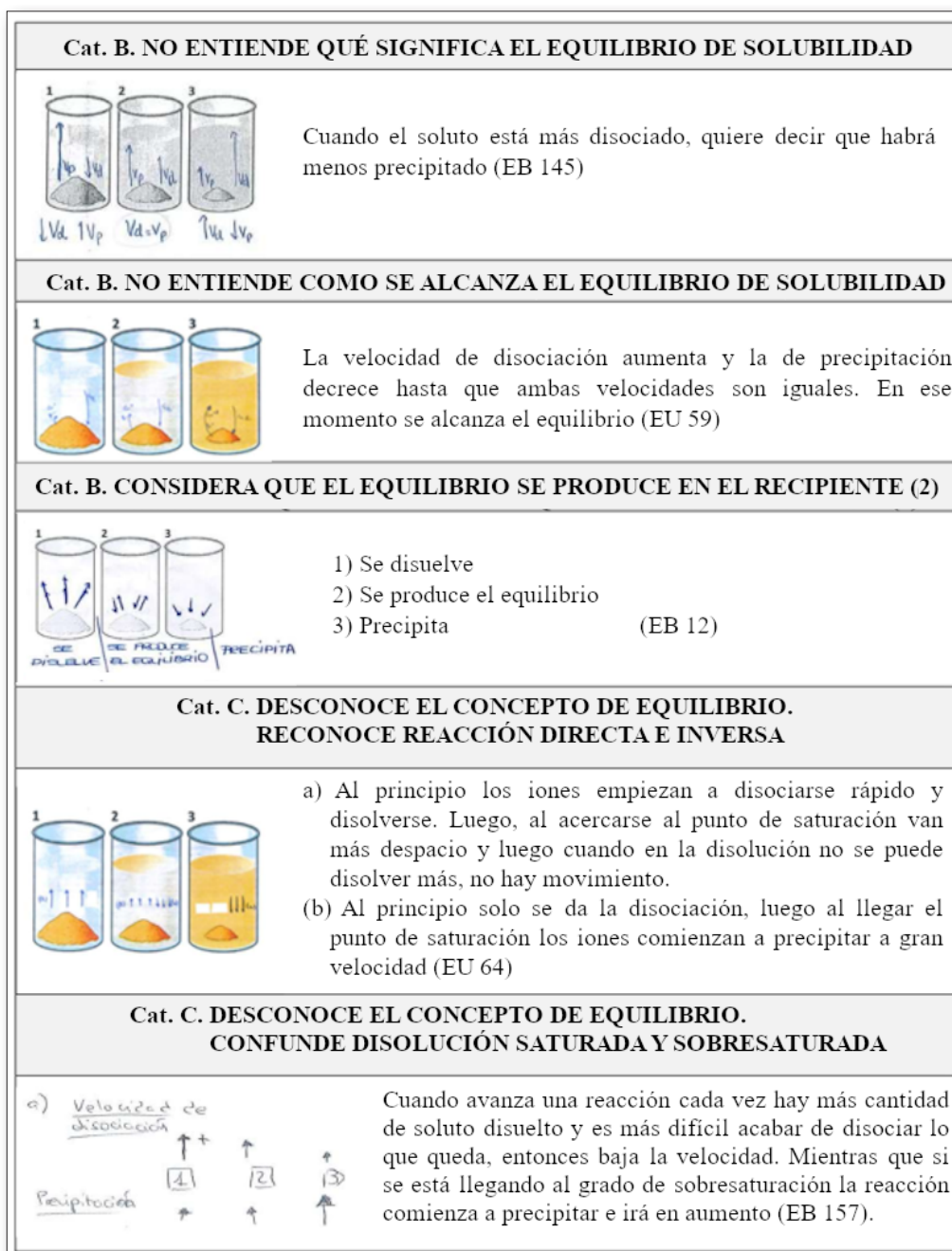


Fig. 11. Ejemplos de las categorías B y C de la cuestión C5.

Categoría D: Recoge las respuestas sin coherencia lógica.

Categoría E: No responden a la pregunta.

Es significativo que la suma de las categorías D y E supone un 76,2 % de los EB y un 32,0 % de los EU, valores que reflejan la enorme dificultad de los estudiantes para entender cómo se alcanza el equilibrio.

Resultados de la cuestión C6 (véase figura 12)

Ofrece las explicaciones del alumnado relativas a la situación de equilibrio.

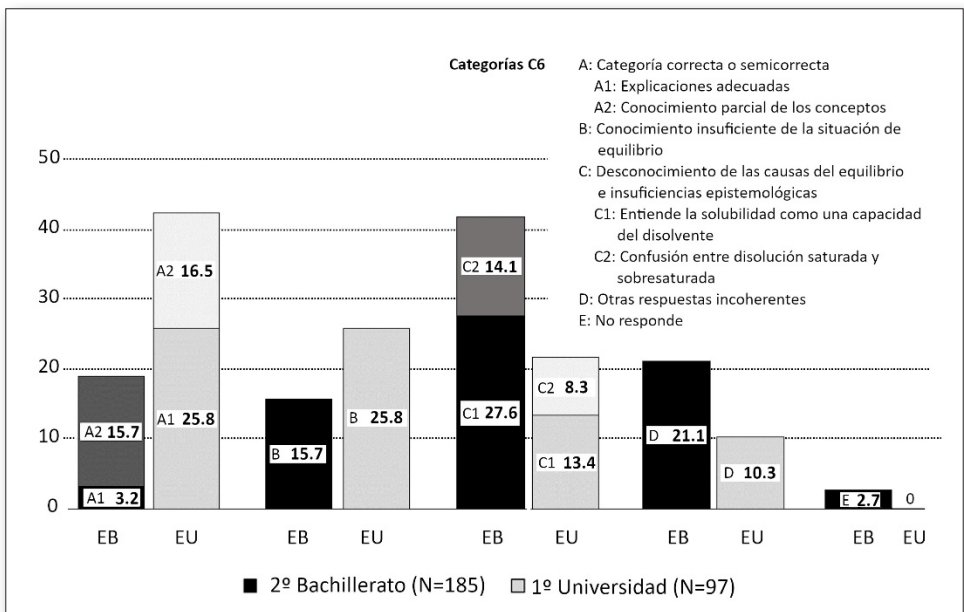


Fig. 12. Categorías y porcentaje de respuestas para las categorías de la cuestión C6.

Categoría A: Se ha estructurado en dos subcategorías que recogen las respuestas correctas. En total suponen un 18,9 % de los EB y un 42,3 % de los EU.

- A1. Relacionan la saturación de la disolución en equilibrio con la solubilidad de la sal.
- A2. Explican correctamente el fenómeno, pero lo hacen de manera parcial, solo en términos de la solubilidad de la sal o bien indicando que la disolución está saturada, sin explicar el significado de esta afirmación.

Ejemplos:

Llegado cierto punto (3) la disolución se encuentra saturada. Esto quiere decir que ya no se puede disolver más bromuro de cobre, aunque el sistema siga estando a 25 °C, ya que no es motivo para que tenga que disolverse del todo (EB 133; C6, cat. A1).

Porque la disolución ha llegado al punto de saturación (EU 50; C6, cat. A2).

Categoría B: Agrupa las respuestas que manifiestan un conocimiento parcial del fenómeno, y lo justifican de manera inadecuada y, en ocasiones, errónea. En total suponen un 15,7 % de los EB y un 25,8 % de los EU.

Ejemplos:

En el punto (3) la sal no se disuelve más porque el sistema ha alcanzado el equilibrio, lo cual quiere decir que cesa la reacción. En una disolución, la sal deja de disociarse en sus iones (EB 142; C6, cat. B).

Ya que el bromuro de cobre tiene una constante de solubilidad en esa temperatura y ésta determina su solubilidad en agua (EU 29; C6, cat. B).

Categoría C: Ignoran el equilibrio y manifiestan diferentes concepciones alternativas relacionadas con los conceptos de solubilidad o de saturación. Representan un total de 41,7 % de los EB y el 21,7 % de los EU.

C1. Sostienen que la solubilidad es una capacidad del disolvente.

C2. Consideran que se ha disuelto más soluto del permitido, por lo que confunden disolución saturada con sobresaturada. Esta dificultad también ha aparecido en cuestiones anteriores, así como en otras investigaciones (Pinarbasi y Campolat, 2003; Adadan y Savasci, 2012).

Ejemplos:

La sal deja de disolverse porque las moléculas de agua han captado todas las moléculas de sal que han podido, pero como había mucha sal no se ha podido disolver toda, independientemente de la temperatura (EB 105; C6, cat. C1).

Porque la sal ha superado el punto de solubilidad y por lo tanto la disolución está sobresaturada y no se puede disolver más (EU 66; C6, cat. C2).

DISCUSIÓN

El análisis conjunto de las respuestas pone de manifiesto que las dos muestras de estudiantes, EB y EU, poseen las mismas concepciones alternativas y similares dificultades de comprensión y razonamiento, aunque en diferentes porcentajes. En general, los EU ofrecen más respuestas correctas y menos ideas incoherentes, además de dejar menos preguntas sin contestar, lo que es un resultado esperable, por tratarse de la segunda vez que abordan su estudio.

La C1 tiene el objetivo de determinar si el alumnado reconoce la idea de solubilidad existente tras el nivel simbólico de las curvas de solubilidad. Ha respondido correctamente más del 55 % de los EB y del 75 % de los EU, aunque conviene señalar que, pese a su escasa dificultad conceptual, alrededor del 40 % de los EB y del 20 % de los EU manifiestan dificultades para leer la gráfica o bien no responden a la pregunta (figura 6, categorías B y C).

Las cuestiones dos y tres (C2 y C3) aumentan ligeramente la demanda cognitiva respecto a la C1, ya que, además de leer la gráfica, el alumnado debe trasponer el lenguaje simbólico a la idea cualitativa de concentración de una disolución. Aunque los porcentajes de respuestas correctas son similares a los de C1, el alumnado manifiesta mayores dificultades, tanto para el concepto de disolución insaturada (C2) como para el de sobresaturada (C3) (figura 6, categoría B). La aparición de respuestas incoherentes en C2 y en C3, inexistentes en C1, podría ser indicativo de una respuesta memorística a C1, lo que muestra una falta de razonamiento basado en evidencias científicas. La falta de comprensión conceptual en estas cuestiones coincide con los resultados de otros estudios (Tan et al., 2002; Othman et al., 2008).

La cuestión C4 profundiza en las concepciones de los estudiantes al solicitar una definición cualitativa del concepto de solubilidad, que únicamente el 7,1 % de los EB y el 5,2 % de los EU han podido ofrecer. En cambio, alrededor del 20 % de los EB y el 40 % de los EU han optado por ofrecer la definición cuantitativa (figura 9, categorías A2 y A3). Estos resultados coinciden con los obtenidos en otras investigaciones (Muchson et al., 2020), lo que apunta a que la enseñanza tradicional se centra más en la resolución de problemas cuantitativos (Nakhleh, 1993) que en mostrar la necesidad del concepto. Asimismo, casi un tercio de los estudiantes confunden la solubilidad con otros conceptos relacionados, pero epistemológicamente diferentes (figura 9, C4, categoría B), lo que manifiesta una comprensión deficiente. Ninguna de las respuestas ha relacionado la solubilidad con las curvas de solubilidad, pese a haber utilizado la imagen en las cuestiones anteriores. Investigaciones previas muestran resultados coincidentes con nuestro estudio (Blanco y Prieto, 1997; Mulford y Robinson, 2002; Çalik, 2005; Adadan y Sabasci, 2012).

Cuando se indaga en la cuestión C5 sobre la interpretación macroscópica del proceso para alcanzar el equilibrio, encontramos que lo interpretan adecuadamente menos del 5 % de los EB y un 25 % de los EU. Alrededor del 15 % de los EB y el 30 % de los EU (figura 9, categoría C), en lugar de describir las velocidades, ofrecen una descripción macroscópica del proceso, basada en ideas incorrectas de la saturación de la disolución o de la solubilidad de la sal. Cabe destacar que la mayoría de EB (75 %) y más del 30 % de los EU (figura 9, categorías D-E) responden sobre la base de las ideas inconexas y sin coherencia, o simplemente no responden. Los resultados de la cuestión C6 corroboran la necesidad de comprender los conceptos de solubilidad y saturación para poder explicar y razonar adecuadamente el equilibrio de solubilidad, ya que solo un 20 % de los EB y un 40 % de los EU han respondido correctamente, al tiempo que en torno al 50 % del total de estudiantes ha puesto de manifiesto dificultades epistemológicas referidas a los conceptos de solubilidad, saturación y equilibrio (figura 12, categorías B-C). Entre las concepciones alternativas encontradas, resalta la confusión entre disolución saturada y sobresaturada, que aparece en algunas de las respuestas a C5 y a C6 (véanse las figuras 10 y 12), en consonancia con lo encontrado en otros trabajos (Çalik, 2005; Mulford y Robinson, 2002; Adadan y Sabasci, 2012).

CONCLUSIONES

En este estudio hemos tratado de contestar a las preguntas de investigación sobre cómo utilizan los estudiantes los conceptos de solubilidad y saturación en los equilibrios de solubilidad. Los resultados obtenidos en la cuestión C5 permiten afirmar que un porcentaje importante del alumnado manifiesta dificultades para explicar desde el nivel de estudio macroscópico cómo varían las velocidades hasta alcanzar el equilibrio. Asimismo, las respuestas a la cuestión C6 muestran desconocimiento de lo que sucede en el equilibrio y llevan a pensar que el alumnado no relaciona macroscópicamente la situación de equilibrio con la saturación de la disolución, que a su vez está determinada por la solubilidad de la sal. Todo esto podría ser un indicador de un aprendizaje memorístico de estos conceptos, que impide su adecuada comprensión (Viennot, 2001). En efecto, los resultados de las cuestiones C1 a C4 ponen de manifiesto que una cantidad significativa de EB y EU manifiesta dificultades de comprensión en la definición conceptual de solubilidad, así como dificultades epistemológicas de interpretación al pasar del lenguaje gráfico al simbólico en las curvas de solubilidad para la disolución insaturada y sobresaturada.

Cabe destacar que los argumentos y procedimientos utilizados por los estudiantes en las diferentes categorías de respuesta muestran diferentes tipos de razonamiento, desde aquellos basados en recuerdos memorísticos y concepciones fragmentadas, sin poder explicativo ni coherencia, hasta los que

llegan a explicaciones «intermedias» alternativas, pero que manifiestan una cierta preocupación por la consistencia interna, y que, con la orientación adecuada, podrían avanzar hacia modelos epistémicos científicos (Vosniadou, 2019).

El estudio tiene limitaciones relacionadas con la muestra de estudiantes, el país donde se realizó y los temas y representaciones utilizados. No pretendemos generalizar los resultados de este estudio a estudiantes de todos los contextos en todo el mundo. Sin embargo, las características de los estudiantes analizados en este estudio han sido compartidas a nivel internacional en estudios anteriores (véase sección de discusión). Los resultados de este estudio podrían conectar con experiencias de los instructores e investigadores de otros contextos y con lo que pueden observar en sus estudiantes. Sería interesante ampliar el alcance de esta investigación a otros países y estudiantes de diferentes cursos empleando métodos cuantitativos y manteniendo la perspectiva dada por el marco metodológico de la fenomenografía.

Otra limitación del estudio es la falta de un análisis comparativo entre las respuestas ofrecidas por estudiantes de bachillerato y universidad, que no se ha abordado en este artículo porque el objetivo central de este era averiguar sus concepciones alternativas y verificar si se mantienen las mismas, aspecto que se ha confirmado. Ir más allá de la constatación de un cierto progreso de aprendizaje entre las dos muestras sobrepasaría el espacio disponible para el trabajo.

Las dificultades encontradas podrían deberse, como apuntan algunas investigaciones, a que la enseñanza tradicional presta más atención a la resolución de problemas cuantitativos que a la comprensión significativa de los conceptos, lo que dificulta el aprendizaje (Nakhleh, 1993). Por ello, como implicación para la enseñanza sugerimos, como paso previo al estudio de los equilibrios de solubilidad, recordar los siguientes aspectos: *a)* el significado cualitativo de solubilidad, como una capacidad de cada sustancia que limita su poder de disolución; *b)* trabajar con las curvas de solubilidad, planteando diferentes supuestos para su resolución y brindando oportunidades al alumnado para que verbalice los significados de solubilidad y saturación, con ejemplos numéricos extraídos de las curvas; *c)* recordar el significado macroscópico del equilibrio químico.

La explicación teórica sobre el equilibrio de solubilidad se debería llevar a cabo estableciendo relaciones entre los conceptos implicados en los tres niveles de representación: el macroscópico explica el fenómeno, que se representa en el nivel simbólico mediante las flechas de velocidad, que varían hasta alcanzar el equilibrio dinámico, que se explica a nivel submicroscópico a través del movimiento constante de partículas. Además, se podría relacionar lo que sucede en la situación de equilibrio con las curvas de solubilidad, y complementar la información con gráficas de velocidad que permitan visualizar que, en el equilibrio, las reacciones directa e inversa adquieren la misma velocidad a una temperatura determinada, lo que implica, a nivel macroscópico, la saturación de la disolución.

REFERENCIAS

- Adadan, E. y Savasci, F. (2012). An analysis of 16-17-year-old students' understanding of solution chemistry concepts using a two-tier diagnostic instrument. *International Journal of Science Education*, 34(4), 513-544.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2011.636084>
- Bilgin, I., Şenocak, E., y Sözbilir, M. (2009). The Effects of Problem-Based Learning Instruction on University Students' Performance of Conceptual and Quantitative Problems in Gas Concepts. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 5(2), 153-164.
<https://doi.org/10.12973/ejmste/75267>

- Blanco, A. y Prieto, T. (1997). Pupils' views on how stirring and temperature affect the dissolution of a solid in a liquid: A cross-age study (12 to 18). *International Journal of Science Education*, 19(3), 303-315.
<https://doi.org/10.1080/0950069970190304>
- Çalik, M. (2005). A cross-age study of different perspectives in solution chemistry from junior to senior high school. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(4), 671-696.
<https://doi.org/10.1007/s10763-005-1591-y>
- Çalik, M., Ayas, A. y Ebenezer, J. V. (2005). A review of solution chemistry studies: Insights into students' conceptions. *Journal of Science Education and Technology*, 14(1), 29-50.
<https://doi.org/10.1007/s10956-005-2732-3>
- Çalik, M., Ayas, A. y Coll, R. K. (2010). Investigating the effectiveness of teaching methods based on a four-step constructivist strategy. *Journal of Science Education and Technology*, 19(1), 32-48.
<https://doi.org/10.1007/s10956-009-9176-0>
- Cam, A. y Geban, O. (2013). Effectiveness of case-based learning instruction on students' understanding of solubility equilibrium concepts. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 44(44), 97-108.
<https://open.metu.edu.tr/handle/11511/53507>
- Chang, R. (2010). *General chemistry: the essential concepts* (10.^a ed.). Boston: McGraw-Hill.
- Chi, M. T., Slotta, J. D. y De Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
[https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90017-5)
- Dahsah, C. y Coll, R. K. (2007). Thai Grade 10 and 11 students' conceptual understanding and ability to solve stoichiometry problems. *Research in Science & Technological Education*, 25(2), 227-241.
<https://doi.org/10.1080/02635140701250808>
- De Berg, K. (2012). A study of first-year chemistry students' understanding of solution concentration at the tertiary level. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 8-16.
<https://doi.org/10.1039/c1rp90056k>
- Devetak, I., Vogrinc, J. y Glažar, S. (2009). Assessing 16-year-old students' understanding of aqueous solution at submicroscopic level. *Research in Science Education*, 39(2), 157-179.
<https://doi.org/10.1007/s11165-007-9077-2>
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11, 481-490.
<https://doi.org/10.1080/0950069890110501>
- Ebenezer, J. V. y Erickson, G. L. (1996). Chemistry students' conceptions of solubility: A phenomenography. *Science Education*, 80(2), 181-201.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199604\)80:2<181::AID-SCE4>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199604)80:2<181::AID-SCE4>3.0.CO;2-C)
- Ebenezer, J. y Fraser, D. (2001). First year chemical engineering students' conceptions of energy in solution processes: Phenomenographic categories for common knowledge construction. *Science Education*, 85, 509. <https://doi.org/10.1002/sce.1021>
- Gorodetsky, M. y Gussarsky, E. (1986). Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *European Journal of Science Education*, 8(4), 427-441.
<https://doi.org/10.1080/0140528860080409>
- Guisasola, J., Furió, C. y Ceberio, M. (2008). Science education based on developing guided research. *Science education in focus*, 173-201.
- Gussarsky, E. y Gorodetsky, M. (1990). On the concept «chemical equilibrium»: The associative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 197-204.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660270303>

- Hackling, M. W. y Garnett, P. J. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *The European Journal of Science Education*, 7(2), 205-214.
<https://doi.org/10.1080/0140528850070211>
- Hammer, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory physics. *Cognition and instruction*, 12(2), 151-183.
https://doi.org/10.1207/s1532690xci1202_4
- Hofer, B. K. y Pintrich, P. R. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of educational research*, 67(1), 88-140.
<https://doi.org/10.3102/00346543067001088>
- Hernando, M., Furió, C., Hernández, J. y Calatayud, M. L. (2003). Comprensión del equilibrio químico y dificultades en su aprendizaje. *Enseñanza de las ciencias*, 21(Extra 0), 111-118.
- Johnstone, A. H. (2010). You can't get there from here. *Journal of chemical education*, 87(1), 22-29.
<https://doi.org/10.1021/ed800026d>
- Kousathana, M. y Tsapalis, G. (2002). Students' errors in solving numerical chemical equilibrium problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 3(1), 5-17.
<https://doi.org/10.1039/B0RP90030C>
- Krause, S. y Tasooji, A. (2007). Diagnosing students' misconceptions on solubility and saturation for understanding of phase diagrams. En *Annual Conference & Exposition* (pp. 12-540). <https://peer.asee.org/1699>
- Krause, S. J. y Isaacs-Sodeye, O. (2013). The effect of a visually-based intervention on students' misconceptions related to solutions, solubility, and saturation in a core materials course. En *2013 ASEE Annual Conference & Exposition* (pp. 23-1189). <https://peer.asee.org/22574>
- Leach, J. y Scott, P. H. (2008). Teaching for the conceptual understanding: An approach drawing on individual and sociocultural perspective. En S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 647-675). Nueva York / Londres: Routledge.
- Lee, O., Eichunger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D. y Blakeslee, T. D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249-270.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660300304>
- Lithner, J. (2008). A research framework for creative and imitative reasoning. *Educational Studies in Mathematics*, 67(3), 255-276.
<https://doi.org/10.1007/s10649-007-9104-2>
- Marton, F. (1981). Phenomenography-Describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10, 177-200.
<https://doi.org/10.1007/bf00132516>
- Marton, F. y Booth, S. (1997). *Learning and awareness*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Muchson, M., Kurniawati, R., Effendy, E. Agusningtyas, D. y Muntholib, M. (2020). Analysis of high school students' metacognitive knowledge on the topic of solubility and solubility product. *AIP Conference Proceedings* 2215, 1, 020012.
<https://doi.org/10.1063/5.0000545>
- Mulford, D. R. y Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739-744.
<https://doi.org/10.1021/ed079p739>

- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *Journal of chemical education*, 69(3), 191-196.
<https://doi.org/10.1021/ed069p191>
- Nakhleh, M. B. (1993). Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? Identifying conceptual students in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 70(1), 52-55.
<https://doi.org/10.1021/ed070p52>
- Nakiboğlu, C. y Nakiboğlu, N. (2019). Exploring prospective chemistry teachers' perceptions of precipitation, conception of precipitation reactions and visualization of the sub-microscopic level of precipitation reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(4), 873-889.
<https://doi.org/10.1039/C9RP00109C>
- Nurrembern, S. C. y Pickering, M. (1987). Concept learning versus problem solving: is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64(6), 508-510.
<https://doi.org/10.1021/ed064p508>
- Onder, I. y Geban, O. (2006). The Effect of Conceptual Change Texts Oriented Instruction on Students' Understanding of the Solubility Equilibrium Concept. *Hacettepe University Journal of Education*, 30, 166-173.
<https://hdl.handle.net/11511/87725>
- Othman, J., Treagust, D. F. y Chandrasegaran, A. L. (2008). An investigation into the relationship between students' conceptions of the particulate nature of matter and their understanding of chemical bonding. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1531-1550.
<https://doi.org/10.1080/09500690701459897>
- Pedrosa, M. A. y Dias, M. H. (2000). Chemistry textbook approaches to chemical equilibrium and student alternative conceptions. *Chemistry Education Research and Practice*, 1(2), 227-236.
<https://doi.org/10.1039/A9RP90024A>
- Petrucchi, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D. y Bissonnette, C. (2011). *Química General: Principios y aplicaciones modernas* (10.ª ed.). Pearson Education, S. A.
- Pinarbasi, T. y Canpolat, N. (2003). Pre-service teacher trainees' understanding of solution chemistry concepts. *Journal of Chemical Education*, 80(11), 1328-1332.
<https://doi.org/10.1021/ed080p1328>
- Prain, V. y Hand, B. (1999). Students' perceptions of writing for learning in secondary school science. *Science Education*, 83(2), 151-162.
[https://doi.org/10.1002/\(sici\)1098-237x\(199903\)83:2<151::aid-sce4>3.0.co;2-s](https://doi.org/10.1002/(sici)1098-237x(199903)83:2<151::aid-sce4>3.0.co;2-s)
- Prieto, T., Blanco, A. y Rodriguez, A. (1989). The ideas of 11 to 14-year-old students about the nature of solutions. *International Journal of Science Education*, 11(4), 451-463.
<https://doi.org/10.1080/0950069890110409>
- Quílez, J. (2004). Changes in concentration and in partial pressure in chemical equilibria: students' and teachers' misunderstandings. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 281-300.
<https://doi.org/10.1039/B3RP90033A>
- Raviolo, A. (2001). Assessing students' conceptual understanding of solubility equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 78(5), 629-631.
<https://doi.org/10.1021/ed078p629>
- Raviolo, A., Schroh, N. T. y Farré, A. (2022). La comprensión de estudiantes de primer año de universidad del concepto de concentración expresada en gramos por litro. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 143-159.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3267>

- Rivard, L. P. (1994). A review of writing to learn in science: Implications for practice and research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 969-983.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660310910>
- Sawrey, B. A. (1990). Concept learning versus problem solving: revisited. *Journal of Chemical Education*, 67(3), 253-255.
<https://doi.org/10.1021/ed067p253>
- Scott, P., Asoko, H. y Leach, J. (2008). Student conceptions and conceptual learning science. En A. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*. Nueva York: Routledge.
- Setiowati, H., Utomo, S. B. y Ashadi (2018). Students' misconceptions on solubility equilibrium. *Journal of Physics: Conference Series* 1022(1), 012035. IOP Publishing.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1022/1/012035>
- Stavy, R. (1981). Teaching inverse functions via the concentrations of salt water solution. *Archives de Psychologie*, 49(191), 267-287.
- Taber, K. S. (2006). Constructivism's new clothes: The trivial, the contingent and a progressive research programme into learning of science. *Foundations of Chemistry*, 8, 189-219.
<https://doi.org/10.1007/s10698-005-4536-1>
- Tahirsylaj, A., Niebert, K. y Duschl, R. (2015). Curriculum and Didaktik in 21st century: Still divergent or converging? *European Journal of Curriculum Studies*, 2(2), 262-281. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-62563>
- Tan, K. C. D., Goh, N. K., Chia, L. S. y Treagust, D. F. (2002). Development and application of a two-tier diagnostic instrument to assess high school students' understanding of inorganic chemistry qualitative analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(4), 283-301.
<https://doi.org/10.1002/tea.10023>
- Thomas, P. L. y Schwenz, R. W. (1998). College physical chemistry students' conceptions of equilibrium and fundamental thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(10), 1151-1160.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199812\)35:10<1151::AID-TEA6>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199812)35:10<1151::AID-TEA6>3.0.CO;2-K)
- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10(2), 159-169.
<https://doi.org/10.1080/0950069880100204>
- Tyson, L., Treagust, D. F. y Bucat, R. B. (1999). The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 554-558.
<https://doi.org/10.1021/ed076p554>
- Uzuntiryaki, E. y Geban, Ö. (2005). Effect of conceptual change approach accompanied with concept mapping on understanding of solution concepts. *Instructional Science*, 33(4), 311-339.
<https://doi.org/10.1007/s11251-005-2812-z>
- Van Driel, J. H., De Vos, W., Verloop, N. y Dekkers, H. (1998). Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: The introduction of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 20(4), 379-392.
<https://doi.org/10.1080/0950069980200401>
- Viennot, L. (2001). *Reasoning in Physics: The part of common sense*. Springer Science and Business media.
<https://doi.org/10.5860/choice.39-4641>
- Vosniadou, S. (2012). Reframing the Classical Approach to Conceptual Change Preconceptions, Misconceptions and Synthetic Models. En B. J. Fraser, K. G. Tobin y C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (vol. I). Londres: Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7>

- Vosniadou, S. (2019). The development of students' understanding of science. *Frontiers in Education*, 4(32).
<https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00032>
- Vygotsky, L. S. (1978). Interaction between learning and development. En M. Gauvain y M. Cole (Eds.), *Readings on the development of children* (pp. 34-40). Scientific American Books.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. y Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in Science. En D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science teaching and Learning* (pp. 177-210). Macmillan Publications.
- Wheeler, A. E. y Kass, H. (1978). Student misconceptions in chemical equilibrium. *Science Education*, 62(2), 223-232.
<https://doi.org/10.1002/sce.3730620212>

Analysis of Students' Epistemic Reasoning and Understanding of the Solubility Equilibrium

M. Consuelo Domínguez Sales
Departamento de Didáctica de las Ciencias
Experimentales, Facultad de Magisterio, UV
consuelo.dominguez-sales@uv.es
<https://orcid.org/0000-0001-9820-4543>

Oskar González-Mendia
Departamento de Pintura, Facultad de Bellas Artes
(UPV/EHU)
oskar.gonzalezm@ehu.es
<https://orcid.org/0000-0001-6495-1815>

Jenaro Guisasola
Departamento de Física Aplicada,
Universidad del País Vasco (UPV/EHU)
jenaro.guisasola@ehu.es
<https://orcid.org/0000-0002-0817-3905>

Daniel Zuazagoitia
Departamento de Didáctica de la Matemática y
las Ciencias Experimentales, Facultad de Educación
y Deporte (Sección Magisterio) (UPV/EHU)
daniel.zuazagoitia@ehu.es
<https://orcid.org/0000-0001-9954-7855>

Solubility equilibria constitute an essential content in the introductory chemistry curriculum. Their understanding requires knowing the mechanism that leads to equilibrium and a good command of the concepts of solubility and saturation, as well as an understanding of their relationship and the role they play in achieving physical solubility equilibrium.

Several studies in didactics have shown difficulties in understanding solubility equilibria and their subsequent concepts, such as salt solubility and solution concentration, at both macroscopic and submicroscopic levels. Understanding chemical equilibrium and how it is achieved also poses problems. Their detection, both in high school and first-year university students, highlights the need to improve teaching in introductory chemistry courses.

The present study contributes to the existing literature on the difficulties in understanding solubility equilibria and points out the need to carry out its study by establishing relationships between the concepts involved in the three levels of representation: the macroscopic level of explanation of the phenomenon, the submicroscopic level, which explains the equilibrium dynamic character and the symbolic level used to describe it, represented in our case by the solubility graphs and the graphical representation of the dissolution and crystallisation rates.

The methodology used in the research shares the social constructivist theory of learning, the latter understood as the construction of knowledge. The study involved a sample of 185 students in baccalaureate final year from different schools in the Valencian Community (18 years old) and 97 students in the first year of the Physics degree at the UPV/EHU's Faculty of Science and Technology (19-20 years old). To detect their problems with the concepts involved, a questionnaire was designed with six open-ended questions, which made it possible to identify alternative conceptions and their underlying reasons. The students' answers were categorised by means of a phenomenographic analysis, in which each category reveals something distinctive about a way of understanding the subject in question, through an inclusive hierarchy of relationships.

The analysis of the answers showed that the two samples of students have the same alternative conceptions and similar difficulties in understanding solubility equilibria, although university students show lower percentages of inconsistent answers. The causes of these difficulties are: *a*) deficiencies in understanding the underlying concepts of solubility of a substance and saturation of solutions, and the relationship between both; *b*) a lack of knowledge of how the rates of the direct and reverse reaction vary until equilibrium is reached; and *c*) a lack of knowledge of what happens at equilibrium with respect to the solubility of the salt and the saturation of the solution.

Therefore, as a teaching implication and as a previous step to the study of solubility equilibria, we suggest keeping students aware of: *a*) the qualitative meaning of the solubility, as a capacity of the substance that limits its power of dissolution; *b*) the symbolic level through solubility curves, providing opportunities to verbalise the meaning of solubility and saturation as well as the relationship between them; and *c*) the macroscopic and sub-microscopic meaning of chemical equilibrium, to relate it to its dynamic character. The complementation of the study of solubility equilibrium with velocity graphs to represent the way in which it is reached and the visualisation that the equality of the rates of the forward and reverse reactions at a given temperature implies, at a macroscopic level, the saturation of the solution is a factor that limits solubility and prevents an increase in concentration, which does not occur in chemical equilibrium.

