



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Facultad de Ciencias de la Educación

Departamento de Didáctica de la Matemática, de las Ciencias Sociales y de las Ciencias Experimentales. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales.

TESIS DOCTORAL

Las bebidas gaseosas como contexto para el aprendizaje de las disoluciones mediante modelización. Estudio de casos en Educación Secundaria Obligatoria.

Tesis realizada por Joaquín Cañero Arias para el título de Doctor por la Universidad de Málaga.

Modalidad: Tesis Doctoral por compendio de publicaciones

2022

Autor: Joaquín Cañero Arias


Directores: Dr. Ángel Blanco López y Dr. José M^a Oliva Martínez

Programa de Doctorado: Educación y Comunicación Social



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

AUTOR: Joaquín Cañero Arias

 <https://orcid.org/0000-0002-0214-752X>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): riuma.uma.es



MÁLAGA UNIVERSITY

Faculty of Education

Department of Mathematics Education, Social Sciences Education and Science Education. Academic field of Science Education.

DOCTORAL THESIS

Carbonated drinks as a context for learning dissolutions through modelling. Cases of study in Compulsory Secondary Education

Thesis submitted by Joaquín Cañero Arias for the degree of Doctor at University of Málaga.

Modality: Doctoral Thesis by compendium of publications

2022

Author: Joaquín Cañero Arias

Directors: PhD. Ángel Blanco López and PhD. José M^a Oliva Martínez

Doctoral Program: Education and Social Communication



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

Dr. Ángel Blanco López¹ y Dr. José María Oliva Martínez²,

¹Departamento de Didáctica de la Matemática, de las Ciencias Sociales y de las Ciencias Experimentales, Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales (Universidad de Málaga) y ²Departamento de Didáctica (Universidad de Cádiz),

INFORMAN,

Que D. Joaquín Cañero Arias, ha realizado bajo nuestra dirección la Tesis Doctoral por compendio de publicaciones titulada **“LAS BEBIDAS GASEOSAS COMO CONTEXTO PARA EL APRENDIZAJE DE LAS DISOLUCIONES MEDIANTE MODELIZACIÓN. ESTUDIO DE CASOS EN EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA.”**, que se recoge en la presente memoria cumpliendo todos los requisitos para optar al Grado de Doctor, por lo que autorizamos su lectura y defensa pública en la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Málaga.

Y para que así conste y tenga los efectos oportunos, firmamos el presente informe,

Málaga, a 20 enero de 2022

Fdo: Dr. Angel Blanco López

Fdo: Dr. José María Oliva Martínez



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Escuela de Doctorado

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR

D./Dña JOAQUÍN CAÑERO ARIAS

Estudiante del programa de doctorado EDUCACIÓN Y COMUNICACIÓN SOCIAL de la Universidad de Málaga, autor/a de la tesis, presentada para la obtención del título de doctor por la Universidad de Málaga, titulada: LAS BEBIDAS GASEOSAS COMO CONTEXTO PARA EL APRENDIZAJE DE LAS DISOLUCIONES MEDIANTE MODELIZACIÓN. ESTUDIO DE CASOS EN EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA.

Realizada bajo la tutorización de ÁNGEL BLANCO LÓPEZ y dirección de ÁNGEL BLANCO LÓPEZ Y JOSE M^a OLIVA MARTINEZ (si tuviera varios directores deberá hacer constar el nombre de todos)

DECLARO QUE:

La tesis presentada es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, conforme al ordenamiento jurídico vigente (Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo.

Igualmente asumo, ante a la Universidad de Málaga y ante cualquier otra instancia, la responsabilidad que pudiera derivarse en caso de plagio de contenidos en la tesis presentada, conforme al ordenamiento jurídico vigente.

En Málaga, a 20 de ENERO de 2022



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

A Myriam y Victoria



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

“El pasado parece deshabitado, pero nunca está vacío”
(Una temporada para silbar, Ivan Doig)



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

“Conócete, acéptate, superate”
(San Agustín)



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

AGRADECIMIENTOS



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

El desarrollo de este trabajo ha supuesto un gran hito personal, iniciado durante un proceso de reconversión laboral y tras concluir el Máster del Profesorado. En este tiempo he descubierto que docencia e investigación, me apasionan a partes iguales. De hecho, disociar el profesor del investigador ha sido, en ocasiones, la parte más difícil de esta investigación.

Con una visión retrospectiva de todo lo vivido y realizado en todos estos años, sólo puedo decir que me siento muy reconfortado por las decisiones tomadas, y enormemente agradecido.

Así, primeramente, gracias a Myriam, mi mujer, por su comprensión y apoyo incondicional. Sus momentos de renuncia al tiempo propio en beneficio de mi doctorado, han sido incontables. Estoy convencido que, sin ella, no habría llegado hasta aquí. Y a Victoria, mi hija, ella en sí misma ha sido el mejor de los alientos para continuar. A ellas dos les dedico esta Tesis, con todo mi corazón.

Seguidamente, gracias a mis directores, los Catedráticos Ángel Blanco López y José María Oliva Martínez, por su capacidad para enseñar y dirigir desde la cercanía y la escucha. En todo momento me he sabido respaldado, acompañado y reconocido en mi trabajo.

Finalmente, no puedo dejar de nombrar:

A todos mis compañeros y compañeras del Grupo de investigación ENCIC de la UMA. Es un privilegio formar parte de un grupo como éste, y, en especial, a Verónica, compañera y apoyo en este camino, a Isa por su gran ayuda en aquella categorización “infinita” y a Enrique por su cercanía y consejos siempre certeros.

A Esperanza y Agustín, madre y hermano, juntos ya vivimos hace muchos años lo que es la preparación de una Tesis. Imagino que, “desde arriba”, el primer Doctor de la familia, estará muy orgulloso de la mía. Y a M^a Victoria y Paco, mis suegros, quienes, regalándome su tiempo, han hecho posible, en innumerables ocasiones, mi asistencia a las reuniones de doctorado.

A Sergio, Nacho y resto de componentes de la “mesa anual del pavo” más que amigos, familia regalada, testigos directos de todo este proceso. Gracias por estar ahí.

A Elena, Sandra y Teresa M., gracias por ayudarme a dejar atrás muchas cosas y a crecer personalmente.

A Alba, Ana, Inma, Javi, Julio y Miguel, mis “insurrectos” más queridos, sois el claustro que cualquiera quisiera tener. Gracias por vuestra amistad y aliento durante todos estos años.

Y, por último, a mi alumnado del Colegio La Presentación de 3^o de ESO en el curso 2016-2017 y de 2^o de ESO del curso 2018-2019 y en especial a mi tutoría de 2^oB. Sin mis alumnos y alumnas nada de esto hubiese tenido sentido.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

RESUMEN (ABSTRACT)



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

La investigación que constituye esta Tesis asume de partida que los enfoques didácticos de contextualización y modelización en la enseñanza de las ciencias pueden combinarse e integrarse de forma adecuada para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Esta hipótesis inicial se confronta en la práctica educativa con el diseño y evaluación de una unidad didáctica sobre las disoluciones, tomando como contexto las bebidas gaseosas. Con la integración de un contexto de la vida diaria y el uso de un modelo o modelos para el aprendizaje, se pretende que el alumnado construya su conocimiento y adquiera las habilidades y capacidades necesarias para desenvolverse en este campo de la química y también en su vida diaria. Así, la pregunta general que guía esta investigación es la siguiente forma:

¿En qué medida y de qué manera la modelización de las disoluciones en el contexto de las bebidas gaseosas puede contribuir a la progresión del aprendizaje de los estudiantes?

Se ha llevado a cabo una investigación que incluye tres estudios, uno preliminar y dos estudios de caso que incorporan ciclos de diseño, implementación y evaluación de una unidad didáctica sobre el fenómeno de las disoluciones, que sigue un enfoque de modelización en contexto, concretamente tomando como foco las bebidas gaseosas. El estudio 1 es de tipo exploratorio, en torno a las ideas iniciales que presentan los estudiantes. El estudio 2 se corresponde con un análisis de los resultados obtenidos finales post-hoc, tras la primera implementación de la unidad didáctica y el estudio 3 se configura en torno a un diseño longitudinal que permite un seguimiento del alumnado a lo largo de toda la unidad didáctica. Los estudios se han realizado con 227 estudiantes de 2º, 3º y 4º de Educación Secundaria Obligatoria de un centro concertado de Málaga.

Los resultados y conclusiones muestran, de un lado, que las bebidas gaseosas son un buen contexto para el aprendizaje de las disoluciones y, por otro, que existen distintos perfiles de modelos mediante los cuales los estudiantes suelen interpretar la disolución en una bebida gaseosa, existiendo una línea de progresión entre ellos y un avance significativo en el tránsito de unos a otros a lo largo de la unidad didáctica propuesta. Además, se comprueba que ciertas actividades de modelización ayudan más que otras a la evolución de los modelos de disolución de los estudiantes, particularmente con relación al papel del dióxido de carbono.

Se considera que los resultados y conclusiones obtenidas suponen una aportación importante al campo de estudio, si bien deben ser adoptados con cautela, puesto que, como cualquier estudio de caso, estos no deben ser objeto de generalización, ya que los perfiles de modelos obtenidos pueden sufrir variaciones a consecuencia de multitud de variables, desde la motivación inicial de los participantes a la variable del profesor entre otras. Por último, se plantean motivaciones para investigaciones futuras como, por ejemplo, analizar si el perfil de modelos que se

han identificado sigue apareciendo en estudiantes de cursos superiores y en qué medida se encuentran arraigados en ellos.

The research that supports this doctoral thesis assumes as a starting point that modelling and contextualization teaching approaches can be appropriately combined and integrated to improve the teaching-learning process. This initial hypothesis is confronted in educational practice with the design, implementation, and evaluation of a teaching-learning unit about dissolutions in the context of carbonated drinks. The integration of a daily-life context and using a model or models for learning is intended to the students to build their own knowledge and acquiring the skills and abilities to function in this chemistry field and in their daily life. Thus, the general question that leads this research reads as follow: To what extent and in which way modelling of dissolutions in the context of carbonated drinks can contribute to the progression of students' learning?

An investigation was carried out including three studies, one is preliminary and two case studies that involve design, implementation, and evaluation cycles of a teaching-learning unit about dissolutions phenomena which follows a modelling approach focused on the specific context of fizzy drinks. First study is exploratory type, regarding students' preconceived ideas. Study two corresponds to an post hoc analysis of the results obtained after the first implementation of the teaching unit; study three is configured around a longitudinal design which permits a tracking of the students' performance across the teaching unit as a whole. The studies have been developed with 227 students of 2^o, 3^o and 4^o year of the Spanish compulsory secondary education in a private school in Málaga.

On the one hand, the results and conclusions show that carbonated drinks are an adequate context for learning dissolutions and on the other, that there are different profiles of models through which students tend to represent the dissolution in a carbonated drink, existing a linear pattern between them and a considerable advance in the transit from one to another throughout the proposed teaching unit. In addition, it is found that certain modelling activities help more than others in the evolution of students' dissolution models, particularly in relation to the role of carbon dioxide.

It is considered that the results and conclusions reached entail an important contribution to the field of study and should be treated with caution, because as any case of study, it should not be generalized since the profiles of the models obtained may suffer variations as a result of a multitude of variables, from the initial motivation or professional/personal qualities of the teacher among others. Finally, motivations for future research are proposed such as investigating whether the profile of models we observed here continues to be present in older students and how entrenched these models may be in them.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación del estudio	3
1.2 Marco teórico	4
1.2.1 Las disoluciones y su dificultad de aprendizaje	4
1.2.2 El proceso enseñanza-aprendizaje a partir de la modelización	6
1.2.3 La contextualización, un enfoque necesario en el proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias	9
1.2.4 La elaboración de bebidas gaseosas como contexto de enseñanza/aprendizaje	11
1.2.5 Estudio de casos en el diseño de la investigación	13
1.3 Esquema general, preguntas y objetivos de investigación	14
1.3.1 Preguntas de investigación	16
1.4 Presentación de los trabajos realizados	18
2 RESULTADOS	27
2.1 Resultados del estudio 1	29
2.2 Descripción de la secuencia didáctica	36
2.3 Resultados del estudio 2	39
2.4 Resultados del estudio 3	46
3 CONCLUSIONES	61
3.1 Conclusiones estudio 1	63
3.2 Conclusiones estudio 2	64
3.3 Conclusiones estudio 3	66
3.4 Implicaciones para la enseñanza y la investigación	67
4 BIBLIOGRAFÍA	71
5 ANEXO I	83
6 CONTRIBUCIONES PRINCIPALES DE LA TESIS	87
7 CONTRIBUCIONES COMPLEMENTARIAS	131

1.INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación del estudio

El aprendizaje de la Química suele exigir de los estudiantes un “salto de fe”, en el sentido de tener que creer todo aquello que se les explica, sin cuestionamiento alguno, entre otras cosas porque el ámbito submicroscópico no suele percibirse como un ámbito de explicación verosímil. Esto conlleva el distanciamiento de los estudiantes respecto a esta materia, puesto que la perciben muy alejada de su día a día e intereses, llegando incluso a considerar como una asignatura inalcanzable.

Desde el comienzo de mi labor como profesor de Física y Química, en Secundaria y Bachillerato, pude comprobar que el estudio de la química suele despertar escaso interés en el alumnado. Esto puede deberse a factores de distinto tipo; entre ellos algunos de tipo metodológico, vinculados a la forma de impartir los contenidos, y otros relacionados con un currículo sobrecargado de contenidos, muy desconectados además de la vida cotidiana. Todo ello, no sólo dificulta el aprendizaje del alumnado, sino que le aleja del estudio de la química, al generar actitudes negativas hacia ésta y su aprendizaje.

Una forma de intentar salir al paso de este problema es acercar la química a la vida cotidiana de los estudiantes, lo que puede incentivarles a reflexionar en torno a los fenómenos que les rodean cotidianamente y, a partir de ahí, generar interés por explicarlos y comprobar el valor de la química como forma de hacerlo. Esta es una de las hipótesis de partida que orienta la investigación desarrollada en esta tesis, que encuentra en las bebidas gaseosas un contexto a partir del cual situar la comprensión de los estudiantes en torno a las disoluciones, una noción clave en la enseñanza-aprendizaje de la química. Así, la investigación que he llevado a cabo y que se desarrolla en mi Tesis Doctoral, encuentra encaje en una línea de investigación que pretende combinar la contextualización, es decir la enseñanza a partir de cuestiones o situaciones de la vida diaria, con las prácticas o actividades de modelización (Blanco-López, Franco-Mariscal, España y Rodríguez, 2018).

Durante la realización del Máster en Profesorado de Educación Secundaria y Bachillerato en la Universidad de Málaga descubrí que muchos profesores de Secundaria realizaban investigaciones que implementaban en sus aulas, relacionadas con los enfoques de enseñanza en contexto y el desarrollo de prácticas científicas (Girón-Gamero, 2017; Moreno-Fontiveros, 2017 y Rodríguez-Mora, 2016) lo que me alentó a comenzar mis estudios de doctorado.

Todo mi trabajo de investigación lo he desarrollado gracias a mi inclusión en el de

grupo de Investigación PAIDI de la Junta de Andalucía HUM-974, “Enseñanza de las Ciencias y Competencias” (ENCIC). Puesto que la línea de trabajo en la que se enmarca mi Tesis se ha venido desarrollando, desde hace varios años, a través de diferentes proyectos de investigación I+D+i del Plan Nacional y, en concreto, en el titulado “Desarrollo y evaluación de competencias científicas mediante enfoques de enseñanza en contexto y de modelización. Estudios de caso” (EDU2013-41952-P), esto me ha permitido trabajar con los doctores Ángel Blanco, de la Universidad de Málaga y José María Oliva, de la Universidad de Cádiz, codirectores de esta tesis, con amplia experiencia y publicaciones en el ámbito de las disoluciones y en los enfoques de contextualización, el primero, y en de la modelización el segundo.

En esta Tesis, la investigación se ha centrado en el diseño, la implementación y evaluación de una unidad didáctica enfocada al aprendizaje de las disoluciones, desde enfoques de modelización y utilizando como contexto las bebidas gaseosas.

1.2 Marco teórico

Los antecedentes y fundamentos teóricos que sustentan esta investigación se orientan desde una triple perspectiva: a) Los estudios sobre dificultades de aprendizaje en el tema de las disoluciones, a partir de los que se sugiere una problemática singular para estos contenidos que debe ser tomada en cuenta en cualquier proceso de innovación; b) La enseñanza basada en modelización que proporciona un marco que ayuda a estructurar los contenidos de aprendizaje, así como las estrategias a implementar, sin perder de vista el papel de los modelos en el aprendizaje de la ciencia escolar, ni las competencias necesarias a poner en juego al aprender, manejar, valorar y reconstruir modelos; c) Los estudios sobre contextualización que nos aportan ideas y estrategias para transponer estos conocimientos científicos, convirtiéndolos en conocimiento escolares que sean cercanos y de interés para el alumnado. Se finaliza este apartado planteando algunas características de los estudios de caso como enfoque metodológico utilizado en algunas de las fases de esta tesis.

1.2.1 Las disoluciones y su dificultad de aprendizaje

Dar explicación a los fenómenos químicos suele ser una cuestión compleja para los alumnos y así se constata en los estudios en los que se ha abordado este aspecto, por ejemplo, en el caso de las disoluciones (Blanco y Prieto, 1994). De hecho, una parte muy reducida del alumnado suele utilizar en sus explicaciones ideas basadas en la naturaleza corpuscular de la materia (Prieto, Blanco y Rodríguez, 1989). Es por ello, que una comprensión del fenómeno de las disoluciones basada en una visión molecular e interactiva de la materia, necesaria para entender por qué unas sustancias se disuelven y otras no, queda muy lejos de los alumnos de educación

secundaria obligatoria (Blanco, 2000).

La investigación sobre la comprensión de las disoluciones por parte del alumnado pone de manifiesto la presencia de concepciones personales muy arraigadas y extendidas en estudiantes de diversas edades y niveles educativos, que son utilizadas para dar explicación de este proceso químico (Blanco, 1995; Krnel et al., 1998; Çalik, Ayas y Ebenezer, 2005; Driver et al., 1994).

Aunque la edad y la instrucción suelen producir mejoras en la comprensión de las disoluciones desde el punto de vista científico, hay estudios que muestran cómo algunas de esas ideas preconcebidas se mantienen inalteradas. Así, Çalik, et al. (2005), en un estudio de revisión de 20 años de investigaciones basadas en el estudio de las ideas de los estudiantes acerca de las disoluciones, observaron que estudiantes de 14-15 años y estudiantes de magisterio utilizan el mismo tipo de concepciones alternativas para explicar la disolución del azúcar en agua, a pesar de que estos últimos han recibido bastante más instrucción sobre el tema. Por ejemplo, aparecen frecuentes respuestas en las que se afirma que el soluto (azúcar) se derrite y se reparte por el agua, interpretación que coincide con las ideas cotidianas sobre disoluciones.

Algunas de las dificultades en la comprensión de las disoluciones pueden generarse, precisamente, por el hecho de ser un fenómeno cotidiano para el alumnado, lo que favorece la aparición de concepciones personales resistentes a la enseñanza. Así, experiencias como preparar algunas bebidas en casa o endulzar la leche (Blanco y Prieto, 1997), los pueden llevar a considerar imprescindibles para la disolución algunas acciones como agitar o calentar, lo que pone de manifiesto la dificultad de diferenciar entre el proceso en sí de disolución y la velocidad del mismo.

Según Blanco y Prieto (1997), los alumnos de 12-18 años, muestran, por un lado, una persistencia de la visión cotidiana de las disoluciones que corresponde al esquema de razonamiento causal descrito por Anderson (1986), según el cual un agente actúa, directa o indirectamente, sobre un objeto y le produce un cambio. Y, por otro lado, un escaso avance de las ideas escolares, que se concreta en la ausencia de movimiento e interacción en las partículas de las disoluciones. La necesidad de factores externos para que se produzca la disolución persiste incluso en alumnado de 18 años con bastante formación en química. Esta persistencia se atribuye a las experiencias cotidianas y a que el modelo de pensamiento causal, del que nos habla Andersson, se activa cuando no se tienen esquemas explicativos adecuados, sobre todo por una escasa asimilación de los conceptos que aporta la teoría cinético-molecular para la comprensión del fenómeno de disolución.

A pesar del esfuerzo investigador realizado en el ámbito de las disoluciones, todavía se detectan algunos aspectos sobre los que la investigación es limitada, como puede ser el de la solubilidad de los gases (Adadan y Savasci, 2012). La literatura muestra que, en estos casos, el aprendizaje no deja de ser dificultoso, sino todo lo contrario. En primer lugar, porque las ideas de los estudiantes sobre lo que es una disolución está normalmente limitada a los casos de sólidos disueltos en líquidos, y raramente aceptan como tal a la mezcla homogénea de dos líquidos, de dos sólidos, de dos gases o de un líquido en un gas (Prieto et al., 1989; Uzuntiryaki, y Geban; 2005). En segundo lugar, por las concepciones que poseen los estudiantes acerca de la continuidad de la materia. Comprender que la materia está formada por partículas, es decir, asumir el modelo de partículas, es el primer paso para entender el comportamiento de un gas en un líquido, pero tal y como expone Nussbaum (1989) este modelo de partículas no es fácilmente aceptado debido a las ideas preconcebidas de los estudiantes, por lo que, su construcción no parece fácil ni rápida. Así, los estudiantes tienen muchas dificultades para entender el propio hecho de que un gas pueda ser un soluto y, por ende, asumir que se produzca el fenómeno de la disolución de un gas en líquido.

Los estudios acerca de las concepciones de los estudiantes sobre la disolución de los gases en líquidos se han centrado, sobre todo, en su solubilidad y en los factores que influyen en ella (Çalik et al., 2007; Adadan y Svasci, 2012). Por esta razón, las propuestas de enseñanza sobre las disoluciones de gases recogidas en la literatura se centran en estos tópicos. Así, por ejemplo, Tsaparlis (2008) presenta la estructura de una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre la disolución de un gas en líquido para estudiantes de 16-17 años, contextualizada en las bebidas gaseosas con un enfoque centrado en la indagación sobre la cantidad de dióxido de carbono disuelto en función de la temperatura y en la toma de decisiones sobre la seguridad ante posibles explosiones de este tipo de bebidas.

Con todo lo planteado, se puede concluir que el abordaje de la enseñanza de las disoluciones presenta retos para involucrar de forma activa al alumnado. Para facilitar la implicación de los estudiantes y su aprendizaje, una buena estrategia sería involucrarlos en prácticas científicas auténticas, como puede ser la de modelización.

1.2.2 El proceso enseñanza/aprendizaje a partir de la modelización.

Existe un consenso en la necesidad de reformular los objetivos de la educación científica para incluir el desarrollo de prácticas científicas por parte del alumnado (Kelly, 2008), asociadas tanto con la producción, como con la comunicación y la evaluación del conocimiento. Una de las prácticas científicas importantes es la modelización (NRC, 2012), ya que el desarrollo y uso de modelos forma parte de la

actividad científica y, en consecuencia, debe integrar el bagaje que debe alcanzar cada estudiante (Clement, 2000; Gilbert y Boulter, 2000).

La modelización es particularmente importante en el ámbito de la química debido a su naturaleza, que implica distintos sistemas y niveles de representación: simbólico, macroscópico, microscópico, molecular, atómico, etc. (Johnstone, 1982; Talanquer, 2011). Hoffman (1995) identifica la modelización como un campo diferenciado de la investigación científica, considerando que los químicos modelan la estructura y funciones de la materia para explicar sus propiedades y sus cambios. En otras palabras, la modelización permite a los químicos desarrollar, evaluar y revisar el conocimiento químico. De modo análogo, es de esperar que los modelos jueguen un papel esencial en el aprendizaje de la química (Justi y Gilbert, 2003; Caamaño 2011), ya que, de hecho, cuando cualquier estudiante se plantea una pregunta, elabora un modelo mental para darle respuesta, que luego evalúa y revisa en caso necesario (Gobert y Bucley, 2000).

El concepto de modelo tiene un papel preponderante tanto en la ciencia como en su didáctica, ya que es utilizado como unidad de conocimiento situado para dar sentido al mundo (Halloun, 1996; Gilbert et al., 1998). En este contexto, modelizar resulta una actividad esencial dentro de la educación científica, ya que, por una parte, aglutina la mayoría de las dimensiones que integran la competencia científica que se promueve desde el currículo de ciencias, y abarca una serie de procesos y de habilidades que, en conjunto, están en estrecha relación con el ciclo de investigación (Justi y Gilbert, 2002; Halloun, 2007). Y, por otro lado, su desarrollo exige toda una gama de valores epistémicos, como percibir el carácter racional de los modelos (Halloun, 1996), reconocer su papel en el desarrollo de hipótesis, explicaciones y argumentos científicos (Oversby, 1999), o también apreciar su utilidad y, simultáneamente, su carácter aproximativo y limitado (Ingham y Gilbert, 1991; Grosslight et al., 1991; Harrison y Treagust, 2000a, b).

En la educación científica no sólo se pretende que el alumnado aprenda los modelos que proporciona la ciencia escolar, sino también, que desarrolle las capacidades y valores inherentes a los procesos de modelización científica (Justi y Gilbert, 2002; Justi 2006; Oliva et al., 2015). Es decir, que los y las estudiantes se formen en el manejo y comprensión de situaciones de la vida diaria, requiere que sean capaces de elaborar modelos sobre los conocimientos abordados, y que desarrollen la competencia que les permita usar los modelos aprendidos (Ácher, 2014; Oliva et al., 2015). En otras palabras, el alumnado debe desarrollar un pensamiento modelizador (Oliva y Aragón, 2009), proceso que, de forma específica, no ha sido hasta aquí objeto de suficiente atención para el aprendizaje de las disoluciones en el contexto de las bebidas gaseosas.

La construcción y uso de modelos en la enseñanza de las ciencias es posible puesto que los propios alumnos poseen, ya de partida, una serie de concepciones iniciales que facilitan el anclaje de los (nuevos) modelos escolares que se les presentan (Oliva y Aragón, 2009). Para que dicho anclaje sea efectivo, es aconsejable que el proceso de enseñanza se acompañe de recursos como dibujos, maquetas, metáforas, analogías, simulaciones, paradojas, experimentos mentales, etc. (Oliva, 2019, 2021). Estos instrumentos actúan como mediadores entre los modelos y la comprensión previa de los alumnos acerca del mundo, constituyendo lo que Justi (2006) denomina “modelos para la enseñanza”. En la etapa de la ESO, los diferentes modelos que se pueden generar deberían ser representaciones simples que expliquen aspectos de la vida cotidiana de forma gradual, de manera que, a la hora de abordar la modelización en el aula, es imprescindible tener en cuenta tres factores (Schwarz et al., 2009):

- a) La relación con el conocimiento científico,
- b) La relación con el mundo físico, y
- c) Su relación con las interacciones entre los miembros de la clase.

Siguiendo en la misma línea argumental, los modelos pueden ser un núcleo esencial sobre el que vertebrar los contenidos de aprendizaje. Tal y como exponen Oliva y Aragón (2009), esta importancia queda reflejada al asumir que el alumnado debe aprender modelos, tiene que saber cómo aplicarlos, y así, debe adquirir las competencias para poder reconstruirlos. Y puesto que es necesaria la adquisición de unas competencias, el razonamiento basado en modelización es una actividad que requiere ser trabajada en el ámbito del aula. De esta forma, como queda expuesto en el trabajo de Oliva, Aragón y Cuesta (2015) sobre el aprendizaje del cambio químico, el proceso de modelización requiere de unas reglas epistémicas que hagan posible el desarrollo y la propia aplicación de modelos ya conocidos, o la construcción de otros, caso que sea necesario. Ello incluye, como ya se ha dicho, que las prácticas de modelización en el aula se acompañen de la reflexión y comprensión sobre la naturaleza y el rol de los modelos en las ciencias y su aprendizaje (Treagust et al., 2002; Schwarz, 2002).

Con lo anteriormente expuesto, se puede afirmar que los modelos de la ciencia escolar pueden suponer un núcleo esencial en torno al que articular contenidos de aprendizaje. Así, en el caso concreto de esta investigación, para que el aprendizaje de las disoluciones a través de los modelos y la modelización sea un proceso viable, es necesario que el alumnado conozca y utilice un modelo corpuscular de la materia que contemple las ideas de movimiento e interacción entre partículas. Sin un modelo de este tipo, se carecería de un mecanismo explicativo para los

fenómenos estudiados, por ejemplo, del por qué algunos materiales se disuelven y otros no (Blanco y Prieto, 1994).

Pero, una vez fundamentada la importancia de la modelización como práctica científica y herramienta para la mejora del aprendizaje, es necesario tener también presente que un modelo es un conocimiento situado, por lo que su aprendizaje no ha de plantearse en abstracto sino en el marco de un contexto fenomenológico, mejor aún si éste constituye un referente de la vida cotidiana del estudiante. Ello, entre otras cosas, facilitará en el alumnado el acercamiento de los conceptos teóricos a su vida diaria, así como una implicación más activa en su propio aprendizaje.

1.2.3 La contextualización, un enfoque necesario en el proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

En términos generales se puede decir que la enseñanza en contexto intenta relacionar la ciencia con la vida diaria de los estudiantes, actual o futura, y hacer ver su interés en los ámbitos personal, profesional o social. King (2012) indica, en este sentido, que una metodología basada en contextos consiste en aplicar la ciencia a una situación del mundo real que se usa como estructura central para la enseñanza. Los conceptos y modelos científicos se enseñan a medida que son necesarios para comprender mejor la situación planteada, ya que se perciben como respuesta a problemas que los propios estudiantes se formulan y, por tanto, adquiriendo así para ellos cierto interés.

En esta línea, podemos poner el foco en el aprendizaje por competencias que recoge el currículo de la enseñanza secundaria, el cual implica la relación de los contenidos del citado currículo con la vida diaria y cotidiana del alumnado (Perrenoud, 2012). Ello contrasta con el planteamiento adoptado desde la enseñanza tradicional, que ha tendido a ignorar el papel preponderante de la química en la vida cotidiana de los estudiantes (Moraga, Espinet y Merino, 2019).

A lo largo de las últimas décadas se ha ido tomando conciencia sobre la falta de conexión de la enseñanza habitual de la química con experiencias de la vida diaria (Sevian y Talanquer, 2014), que se interpreta a menudo como una de las razones que explica el desinterés de los estudiantes por el aprendizaje de la química (De Jong, 2008). Afortunadamente, esta situación parece estar cambiando (Gilbert, Bulte y Pilot, 2011), apreciándose una tendencia creciente a vincular la ciencia escolar con la vida diaria (Andrée, 2005), como lo demuestra los grandes esfuerzos que se están realizando a nivel internacional en esta dirección. Para ello, se ha propuesto conectar la ciencia que se enseña a necesidades contextualizadas (Gilbert, 2006) y activar así la curiosidad de los estudiantes, logrando mejorar el

interés, la motivación y la actitud hacia el aprendizaje (Moraga, Espinet y Merino, 2019). Por fortuna, este movimiento creciente empieza ya a tener efectos sobre el currículum de química a nivel escolar (Meroni, Copelloy Paredes 2015).

Afrontar una enseñanza de la química desde la vida diaria, no sólo no pierde solidez científica, sino que, por el contrario, supone un enriquecimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje puesto que los fenómenos químicos que tienen lugar a nuestro alrededor quedan justificados (Chamizo e Izquierdo, 2005). Por tanto, el valor de la contextualización se puede justificar desde tres vertientes:

a) como medio de acercamiento del aula a la vida cotidiana del alumno, contribuyendo a mejorar el interés de éstos hacia las ciencias y su aprendizaje (Blanco, España y Rodríguez, 2012).

b) como ayuda al aprendizaje de conceptos y modelos de la química que suelen ser difíciles para el alumnado (Caamaño 2011; Gómez-Crespo, 2008; Furió y Domínguez 2007), y

c) como mejora de la competencia científica para la toma de decisiones en la vida cotidiana y en la resolución de problemas sociocientíficos (ACS, 1993, Sadler, 2009).

La elección de contextos de aprendizajes que sean potencialmente útiles y estimulantes para el alumnado constituye una fase crítica en el proceso de diseño curricular como parte de la actividad de transposición didáctica que realiza el profesor (Sanmartí, 2002). Es posible recurrir para ello a distintos tipos de contextos, como puede ser el histórico, el tecnológico, el de la profesión científica, el ambiental o el de la vida diaria, entre otros muchos. Gilbert (2006) plantea cuatro enfoques o modalidades distintas a la hora de concebir qué entendemos por contexto en la enseñanza de la química. En primer lugar, nos habla de la idea de contexto como ámbito de aplicación directa de los conceptos de química estudiados, en el marco de situaciones o acontecimientos cotidianos y/o relacionados con la vertiente industrial. En segundo lugar, Gilbert cita el contexto como foco de reciprocidad en las relaciones entre conceptos y aplicaciones; es decir, como oportunidad en la que los propios conceptos adquieren significado, en línea con las perspectivas CTS (Ciencia-Tecnología-Sociedad). En tercer lugar, se refiere a la noción de contexto como marco referencial que depende de la actividad mental del sujeto, buscando “situaciones”, “contextos” y “narrativas” con los cuales los alumnos empaticen ante el ambiente informal frente a los que les sitúa. Finalmente, el cuarto enfoque sitúa la idea de contexto desde una perspectiva social y cultural, involucrando temas y actividades que se consideran importantes para la vida cotidiana de las comunidades dentro de la sociedad.

En esta investigación adoptamos como foco de contextualización el ámbito de vida cotidiana (bebidas gaseosas), al considerarlo un foco esencial para el planteamiento de contextos de aprendizaje, pudiendo catalogarse en todos y cada una de las modalidades de contexto que señala Gilbert (2006). De este modo, como ese mismo autor reconoce, los modelos de la ciencia escolar pueden aplicarse a situaciones cotidianas como una forma de concretarlos y mejorar su comprensión. Pero, además, muchos objetos tecnológicos y comerciales que nos rodean en nuestro día a día, pueden servir para justificar el sentido y utilidad de muchas de las ideas científicas que se manejan, que en algún momento histórico surgieron incluso en respuesta a la necesidad de resolver problemas prácticos. Así mismo, la vida cotidiana proporciona un contexto informal cercano, confortable y motivador (Escaño y Gil de la Serna, 2001) que puede contribuir a relajar el formalismo académico habitual de los enfoques más convencionales.

1.2.4 La elaboración de bebidas gaseosas como contexto de enseñanza-aprendizaje.

La preparación de bebidas gaseosas puede ser un contexto útil para la enseñanza y el aprendizaje de las disoluciones. A continuación, pasamos a describir distintos tipos de justificaciones que sirven para fundamentar esta afirmación apoyándonos en los criterios planteados por Prins et al. (2008) y España et al. (2012):

Relevancia en la vida diaria

Las bebidas carbonatadas son productos muy cotidianos en nuestra sociedad y, por lo tanto, entre los adolescentes. Según datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), durante el año 2020 el consumo de bebidas gaseosas (cola, naranja y limón) en España rondó los 27 litros per cápita. Adicionalmente, desde una perspectiva social, el consumo de bebidas carbonatadas azucaradas se relaciona con el problema del aumento de la obesidad entre los más jóvenes (Ramos, 2010) puesto que una lata de refresco azucarado con el volumen comercial de 33cL equivale, aproximadamente a la ingesta de 21 gramos de sacarosa, es decir, la masa de azúcar que contienen tres sobres de azúcar que tradicionalmente se encuentran en bares y cafeterías. Existen multitud de campañas publicitarias que fomentan su consumo, información que no es ajena a los alumnos y alumnas de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Por tanto, consideramos que su elevado consumo, su clara repercusión en la salud y su presencia en la publicidad, constituyen factores que ayudan a interesar e involucrar a los alumnos en su estudio.

Relaciones con el currículum

Las disoluciones forman parte del currículum de la ESO tal y como se recoge en Real Decreto 1105/2014 de 26 de diciembre (MEFP, 2015), entre los cursos de 2º a 4º. Incluyéndose cuestiones que implican, por ejemplo, la “identificación de mezclas y sustancias”, “el modelo cinético molecular” o la “concentración molar”.

Desde el punto de vista químico, las bebidas gaseosas, como ejemplo de disoluciones, ofrecen un amplio número de aspectos y situaciones a los que puede recurrirse durante su proceso de enseñanza-aprendizaje de la química. Así, procesos como la adición de azúcar, colorantes o dióxido de carbono, ofrecen una oportunidad para que los estudiantes se impliquen en la preparación de disoluciones. Además, con la adecuada guía del profesor, la reflexión y estudio en torno a estos procesos, puede ayudar a la elaboración de conceptos como el de concentración, manejar ideas relacionadas con las sustancias y moléculas de carácter orgánico o la aplicación de las leyes de los gases que relacionan presión, temperatura y volumen. Por otro lado, se pueden plantear preguntas que conduzcan a procesos de indagación, por ejemplo, cuestiones del tipo: ¿cómo hay que introducir el gas para que quede disuelto en la bebida?, ¿por qué se escapa el gas si se deja la bebida abierta?, ¿por qué se forman más burbujas al echar en un vaso una bebida a temperatura ambiente que una fría?, ¿están hirviendo las bebidas gaseosas? (Goodwin, 2001), etc. Es por ello, que la preparación de bebidas carbonatadas en el aula supone un contexto más que propicio para la enseñanza y el aprendizaje de las disoluciones aplicadas a un soluto sólido como el azúcar y a uno gaseoso como el dióxido de carbono.

Relaciones con la modelización

Como se ha indicado anteriormente, las disoluciones constituyen un amplio rango de fenómenos y sistemas materiales que pueden ser explicados con un modelo basado en la teoría cinético-molecular de la materia (Blanco, Ruiz y Prieto, 2010). Así, la modelización de las bebidas carbonatadas permite abarcar contenidos tanto de los tres estados de la materia, especialmente el gaseoso, como del proceso de disolución en sí, ya que implica la mezcla de sustancias inicialmente en los tres estados de la materia, gaseoso (en el caso de dióxido de carbono), líquido (al agua) y sólido (como el azúcar). Por tanto, permite ir más allá de la disolución de sólidos en líquidos (azúcar o sal en agua) o de líquidos en líquidos, que son lo habituales en la enseñanza de las disoluciones (Blanco, 2000).

Relaciones con el trabajo práctico en el aula

El trabajo práctico en el aula, relacionado con procesos y/o productos con los que esté familiarizado el alumnado, puede generar interés hacia el aprendizaje de las ciencias, tal y como se recogen en diferentes investigaciones (Barberá y Valdés, 1996; Blanco y Garrido, 2011). En el caso concreto de las bebidas gaseosas, su elaboración es la parte central de la propuesta didáctica que se presenta dentro de esta tesis doctoral. Son varios los métodos que se pueden utilizar para preparar bebidas carbónicas, por ejemplo, trasvasando el gas carbónico generado por la reacción del vinagre con hidrogenocarbonato de sodio a una disolución de agua azucarada. También se puede fabricar gaseosa con ácido tartárico, bicarbonato sódico, azúcar (o un edulcorante como la estevia o sacarina) y agua (Escobero, Castro y Cruz, 2014).

1.2.5 Estudios de caso en el diseño de la investigación

Todo diseño educativo innovador constituye un proceso complejo que debe acometerse de un modo iterativo y cíclico. Aunque pueda existir de fondo una teoría educativa que fundamente una propuesta didáctica determinada, el diseño y puesta a punto de la misma, ha de planificarse a través de un proceso de aproximaciones sucesivas, a lo largo del cual, la propuesta inicial se va depurando y optimizando. Este proceso de mejora se produce desde dos vertientes, a partir de los resultados que se obtienen y de la propia práctica educativa (Lijnse y Klaassen, 2004; Juuti y Lavonen, 2006).

En el contexto de la investigación que nos ocupa, aunque la elaboración de una unidad didáctica es una parte muy importante de la investigación, esta no constituye su única motivación. Al mismo tiempo, resulta esencial conocer el nivel de participación de los estudiantes a lo largo de la misma, cómo se desarrollan las actividades que la conforman y cuáles pueden ser los escollos que salvar durante la puesta en práctica. Por tanto, contiene también una parte exploratoria de corte evaluativa, a través de la implementación final de la propuesta desarrollada en un contexto natural de aula con un número limitado de alumnado.

Dicho proceso evaluativo se basará en la orientación de estudios de caso. Tal y como se recoge en *Research Methods in Education* (Cohen, Manion y Morrison, 2007), un estudio de caso es un ejemplo específico que es diseñado frecuentemente para ilustrar un principio más general. O como también plantea Yin (1994), es una indagación empírica que investiga un fenómeno en profundidad desde su contexto en la vida real. Con ello se puede afirmar que un estudio de caso constituye una herramienta de investigación muy provechosa puesto que permite encajar ideas y teorías abstractas, con alumnado real dentro de un aula real. Es

decir, trabajando desde una situación real se puede observar cómo los planteamientos teóricos tienen efecto sobre los participantes, en este caso, grupos de estudiantes de ESO.

1.3 Esquema general, preguntas y objetivos de investigación

La hipótesis central que orienta la presente tesis doctoral consiste en asumir que los enfoques de contextualización y modelización pueden integrarse de forma adecuada en el proceso de enseñanza y producir una mejora del aprendizaje. Se espera que la implicación de los alumnos en prácticas de modelización contextualizadas, invitándolos a construir, usar, evaluar y a revisar los modelos en contextos cotidianos y de forma práctica, produzca una mejora en el aprendizaje de los fenómenos estudiados y de los modelos que sirven para interpretarlos.

Esta hipótesis pretende ser confrontada en la práctica educativa con el diseño, implementación y evaluación de una unidad didáctica denominada “Deconstruyendo las bebidas gaseosas” dirigida a alumnado de ESO. En ella, se pondrán en juego nociones clave de la química, como las de disolución y concentración, las cuales habitualmente acarrearán, como se ha indicado antes, importantes dificultades de aprendizaje.

Así, la pregunta general que guía esta investigación puede formularse de la siguiente forma:

¿En qué medida y de qué manera la modelización de las disoluciones en el contexto de las bebidas gaseosas puede contribuir a la progresión del aprendizaje de los estudiantes?

Al objeto de responder a esta pregunta, se ha llevado a cabo una investigación que ha incluido un estudio preliminar y dos ciclos de diseño, implementación y evaluación de una unidad didáctica para el aprendizaje de conceptos clave de química, como son los de disolución y concentración, que sigue un enfoque de modelización en contexto, concretamente tomando como foco las bebidas gaseosas. En este sentido, además de constituir en sí mismo un producto de la investigación, el diseño didáctico que planteamos en forma de secuencia de enseñanza-aprendizaje, supone un escenario que nos sirve de base para evaluar cómo piensan los estudiantes y cómo modelizan el fenómeno de la disolución en interacción con los materiales de aprendizaje empleados.

En la figura 1 se muestra un esquema general de la investigación, describiendo los tres estudios realizados, que estructuran la tesis.

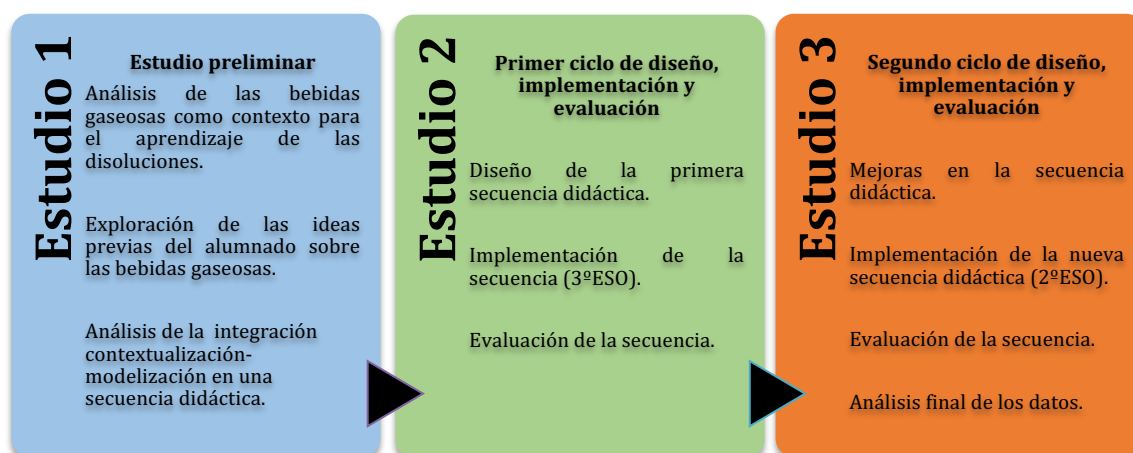


Figura 1. Esquema general de la investigación

En el estudio preliminar (estudio 1) se llevó a cabo, en primer lugar, un análisis de las posibilidades didácticas de las bebidas gaseosas como contexto adecuado para el aprendizaje de las disoluciones, en términos de lo previsto, según lo mostrado en el apartado 1.2.4. A continuación se indagaron los hábitos de consumo, las opiniones, las concepciones y los modelos preconcebidos por el alumnado con relación a las bebidas gaseosas, abundando en el análisis en torno a cómo imaginan el interior de una bebida azucarada con gas. Así, el objetivo principal del estudio 1 fue recabar información y analizar la posibilidad de diseñar una secuencia didáctica para el aprendizaje de las disoluciones en la ESO orientada desde un enfoque que integrase la contextualización y la modelización en el marco de las bebidas gaseosas.

Los datos del estudio preliminar (1), posibilitaron el diseño de la secuencia didáctica “Deconstruyendo las bebidas gaseosas”, así como su implementación y evaluación, dando lugar así al estudio 2 en el que se abordó la evolución de los modelos de los estudiantes acerca del contenido de una bebida gaseosa entendida como una disolución compuesta por agua, azúcar y dióxido de carbono. Dicha secuencia contó, entre otras, con actividades de modelización y un trabajo práctico de preparación de una bebida gaseosa en el aula. Finalmente, tras realizar mejoras en la secuencia didáctica, en el estudio 3 se realizó una nueva implementación y evaluación de la unidad, analizando esta vez la evolución de los modelos del alumnado a lo largo de todas las actividades de modelización emprendidas, centrándose ahora en la disolución del gas.

Como tendrá oportunidad de comprobar el lector a lo largo de la tesis, en los sucesivos estudios realizados se pueden identificar al menos cuatro vectores de avance en la investigación, a tener en cuenta para una lectura comprensiva del conjunto. Estos están relacionados con:

- A. *Los instrumentos de análisis.* Estos evolucionan desde un sistema de categorías, empleado en el estudio 1, de utilidad para analizar las ideas que manejan los estudiantes, a una rúbrica analítica, usada en el estudio 2, de interés para identificar la proximidad de las ideas aprendidas al punto de vista de la ciencia escolar, y una rúbrica sintética en el estudio 3, más comprometida con un estudio de identificación de los modelos de los estudiantes.
- B. *El diseño didáctico.* Este no existe en el primero de ellos, al ser un estudio preliminar; aparece en el segundo, aunque a modo tentativo y en primera aproximación, y culmina en el tercero con la segunda implementación del diseño final presentado.
- C. *El tipo de diseño de investigación planteado.* En el estudio 1 es de tipo exploratorio, en torno a las ideas iniciales que presentan los estudiantes; y los estudios 2 y 3 como estudios de caso. En concreto el estudio 2, se corresponde con un análisis de resultados obtenidos *post-hoc*, tras la primera implementación, y el estudio 3 se configura en torno a un diseño longitudinal que permite un seguimiento del alumnado a lo largo de toda la secuencia didáctica. En este contexto, el tercero de los estudios resulta sin duda el más completo, si bien los otros dos anteriores fueron necesarios para llegar a él.
- D. *El foco de atención.* En el primero de ellos el interés se sitúa en un plano más general, investigando no solo las ideas de los estudiantes sino también sus hábitos de consumo y sus percepciones sobre el efecto en su salud de las bebidas gaseosas. Mientras tanto, en el segundo el foco se sitúa en el fenómeno de disolución en sí, atendiendo a la composición y la estructura de la misma. Finalmente, en el tercero, se fija la atención en el papel del dióxido de carbono en la disolución, ya que es este el componente que mayores dificultades implica en la modelización del conjunto de la bebida.

1.3.1 Preguntas de investigación

Teniendo presente el esquema anterior (figura 1) las cuestiones centrales que orientan el problema de investigación objeto de esta tesis, se formulan de la siguiente forma:

Estudio 1

Estudiar la potencialidad de las bebidas gaseosas como ámbito para contextualizar la enseñanza-aprendizaje de las disoluciones, requería un análisis previo en torno a la familiaridad de los estudiantes acerca de este tipo de bebidas y sus opiniones sobre su salubridad. Así mismo, precisaba conocer sus ideas, y cómo se organizan,

en torno a su naturaleza, estructura y composición. Por ello, en este estudio se plantearon dos preguntas de investigación.

P1: ¿Cuáles son los hábitos de consumo y creencias de los estudiantes de secundaria en torno a las bebidas gaseosas?

Además del correspondiente análisis teórico previo, para dar respuesta a la referida pregunta, se llevó a cabo una investigación en torno a las ideas y creencias de alumnado de secundaria sobre las bebidas gaseosas. Se trataba de obtener información sobre los hábitos de consumo y los conocimientos acerca de salubridad, composición y fabricación de las mismas.

P2: ¿Qué características tienen y qué grado de articulación en torno a modelos poseen las ideas de los alumnos acerca la composición de una bebida gaseosa?

Para investigar esta cuestión se llevó a cabo un estudio en el que se hace un análisis preliminar con estudiantes de 2º, 3º y 4º de ESO que no habían recibido formación acerca de las disoluciones en el contexto de las bebidas gaseosas. Los resultados obtenidos en este estudio deberían proporcionar información para el diseño de la unidad didáctica.

Estudio 2

Las conclusiones acerca de las preguntas de investigación 1 y 2 nos permitieron constatar la potencialidad de las bebidas gaseosas como contexto para el estudio de las disoluciones. Además, proporcionó información muy valiosa para la elaboración de un primer diseño didáctico dirigido al aprendizaje de la química con estudiantes de la ESO

El problema de investigación asociado a este estudio orbitaba en torno al grado de desempeño final alcanzado por los estudiantes que cursaron dicha unidad didáctica, para lo que se evaluaron las representaciones finales que manejaban en torno a una bebida carbonatada. Dicho propósito se concretó en torno a tres preguntas de investigación, a saber:

P3: ¿Cómo representaron los estudiantes, las sustancias y las especies químicas presentes en la disolución tras finalizar la intervención?

P4: ¿Qué características de las disoluciones líquidas están presentes en los modelos de los estudiantes?

P5: ¿Cómo articulan distintas ideas en sus representaciones?

La secuencia didáctica desarrollada fue implementada con estudiantes de 3º de ESO. Al finalizar la misma los participaron completaron una prueba, la cual, entre otras, incluía una pregunta abierta destinada a recabar información sobre cómo representaban finalmente los estudiantes la composición y estructura de una bebida gaseosa.

Estudio 3

Los resultados y conclusiones del estudio 2 permitieron modificar y completar la unidad didáctica, que fue implementada de nuevo con otro grupo distinto de estudiantes de la ESO. En este caso el estudio fue de carácter longitudinal realizando un seguimiento de las representaciones manejadas por los estudiantes, lo que nos permitió inferir los modelos que parecían sostener, así como su evolución a lo largo de la secuencia. En este marco, se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

P6: ¿Qué clase de modelos usaron los estudiantes para representar el dióxido de carbono en una bebida gaseosa a lo largo del proceso de implementación?

P7: ¿Cómo evolucionaron estos modelos durante una unidad didáctica centrada en las disoluciones y la modelización de las mismas?

En este caso, la muestra participante estaba compuesta por estudiantes de 2º de ESO. El instrumento de recogida de datos fue el porfolio del alumno, que sirvió para recopilar las respuestas de éstos a las distintas actividades integradas en la secuencia didáctica. En concreto, situamos el foco en las respuestas aportadas por los estudiantes en aquellas actividades en las que se demandaba la modelización de la estructura y composición de una bebida gaseosa.

1.4 Presentación de los trabajos realizados

Esta Tesis Doctoral se presenta en la modalidad de compendio de publicaciones, las cuales se distribuyen a lo largo de tres estudios que conjuntamente conforman la investigación realizada (véase figura 1). El total de producciones generadas (artículos, capítulos de libro y comunicaciones a congresos) es de diez, que aparecen codificadas en la figura 2. En concreto, las **contribuciones principales (CP)** (sombreadas en color más intenso) son las que avalan la presentación de la

Tesis Doctoral por compendio, mientras que el resto de las contribuciones constituyen el grupo de publicaciones de carácter complementario (CC). A continuación, se describe la relación de cada una de las publicaciones (figura 2) con cada uno de los estudios realizados (figura 1).

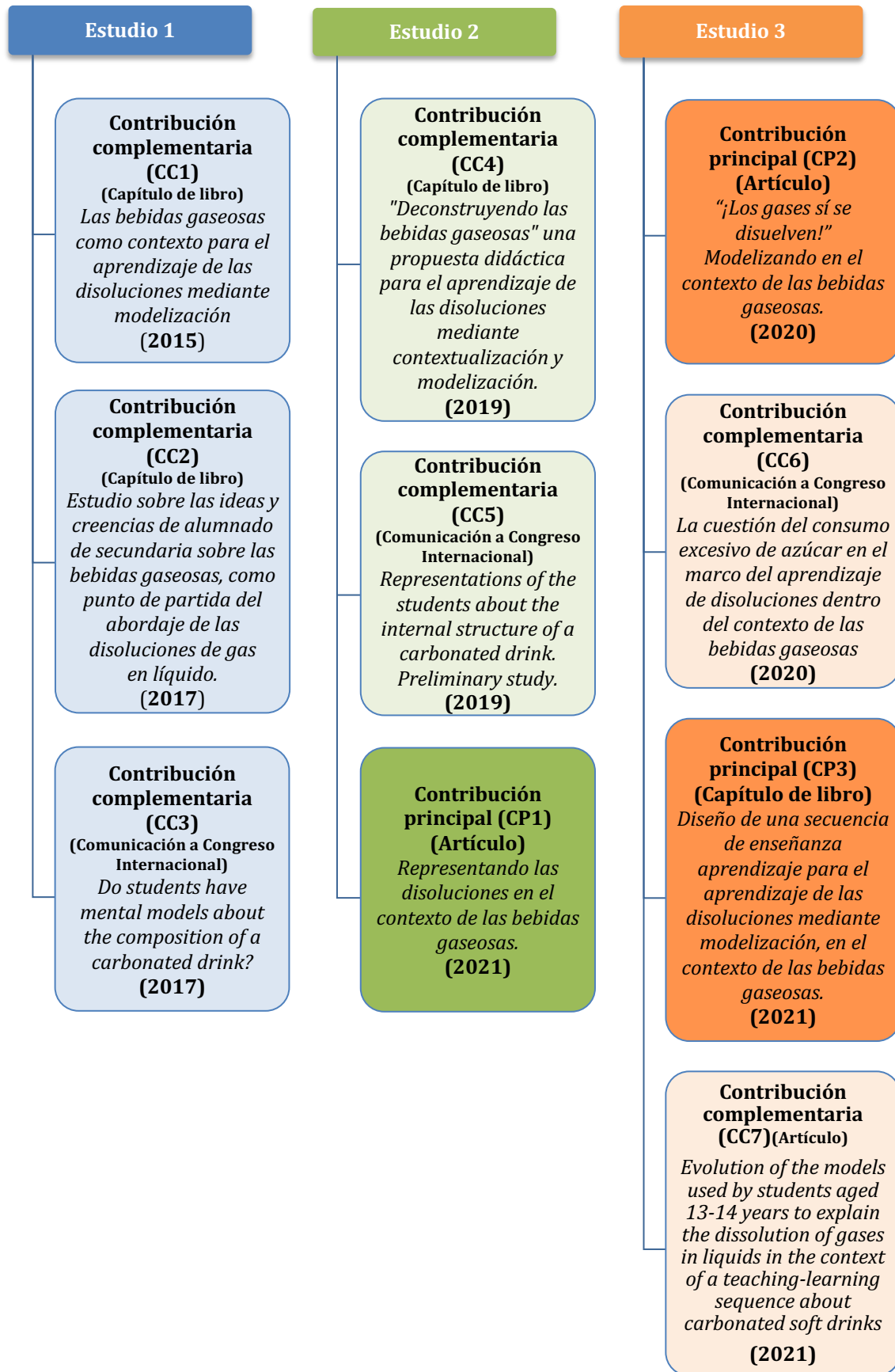


Figura 2. Esquema general de publicaciones derivadas de esta Tesis Doctoral

Como parte del estudio preliminar (estudio 1), el capítulo de libro *“Las bebidas gaseosas como contexto para el aprendizaje de las disoluciones mediante modelización”* (CC1) abordó, en primer lugar, el análisis de la potencialidad de la combinación de la contextualización y la modelización para el aprendizaje de las disoluciones. Por su parte, en el capítulo de libro *“Estudio sobre las ideas y creencias del alumnado de secundaria sobre las bebidas gaseosas, como punto de partida del abordaje de las disoluciones de gas en líquido”* (CC2) se llevó a cabo un análisis de las ideas previas de estudiantes de educación secundaria obligatoria acerca de las bebidas gaseosas y su relación con su consumo, salubridad y elaboración. Finalmente, en tercer lugar, en la aportación *“Do students have mental models about the composition of a carbonated drink?”* (CC3) se analizó las nociones de partida empleadas al describir la preparación de una bebida gaseosa tomando como ingredientes principales el agua, el azúcar y el gas.

El interés de estos estudios exploratorios radica en que, aunque el aprendizaje de las disoluciones está ampliamente tratado en la bibliografía, apenas existen trabajos que hayan tomado como contexto de aprendizaje las bebidas gaseosas y, menos aún, que incluyan su combinación con prácticas de modelización. Se asume que las disoluciones son un hecho muy común en la vida diaria de los estudiantes, pero aun siéndolo encierran muchas dificultades asociadas a su estudio.

Dentro del estudio 2, se realizó el primer diseño de una unidad didáctica para el aprendizaje de disoluciones mediante modelización en el contexto de las bebidas gaseosas, lo cual se desarrolla en el capítulo de libro *“Deconstruyendo las bebidas gaseosas” una propuesta didáctica para el aprendizaje de las disoluciones mediante contextualización y modelización”* (CC4). La primera implementación de la unidad didáctica se llevó a cabo en tercer curso de la ESO cuyos resultados se recogen en la contribución y *“Representations of the students about the internal structure of a carbonated drink. Preliminary study”* (CC5), en la que se realiza un análisis en torno a los modelos finales desarrollados tras la implementación. Desde esta perspectiva, el artículo *“Representando las disoluciones en el contexto de las bebidas gaseosas”* (CP1) caracteriza las representaciones finales que utilizan los estudiantes de secundaria obligatoria de 15 años para representar una bebida gaseosa como disolución, tras prepararla en el aula, con objeto de detectar dificultades y limitaciones a tener en cuenta en la mejora de dicha unidad y la realización de una posterior implementación de la misma.

Finalmente, tras el análisis de los datos efectuado en el estudio 2, donde se realizó un ciclo completo de diseño, implementación y evaluación de los modelos de los estudiantes, en el estudio 3 se realizaron cambios en el diseño de la unidad como la introducción de una nueva actividad relacionada con las burbujas de gas. El desarrollo de las actividades de modelización y la estructura final de la unidad

didáctica se muestran en el artículo “*¡Los gases sí se disuelven!*” Modelizando en el contexto de las bebidas gaseosas” (CP2) y en **Capítulo** de libro “Diseño de una secuencia de enseñanza actividades aprendizaje para el aprendizaje de las disoluciones mediante modelización, en el contexto de las bebidas gaseosas.” (CP3).

Conviene señalar que en este estudio 3, se puso el foco especialmente en las actividades de modelización y en concreto en la disolución del gas, puesto que se observó que era el soluto el que presentaba mayores dificultades de comprensión en relación con su papel dentro de la disolución. Así, tras el análisis de las actividades de modelización, se obtuvieron diferentes tipologías de modelos para la representación de la disolución del gas en las bebidas, y se analizó cómo evolucionaban estos modelos a lo largo de la unidad didáctica, cuestión que el lector puede encontrar en el artículo “*Evolution of the models used by students aged 13-14 years to explain the dissolution of gases in liquids in the context of a teaching-learning sequence about carbonated drinks.*” (CC7).

Por último, la contribución “*La cuestión del consumo excesivo de azúcar en el marco del aprendizaje de disoluciones dentro del contexto de las bebidas gaseosas*” (CC6) aporta información acerca de cómo se aborda la cuestión del consumo excesivo de azúcar dentro de la unidad didáctica, puesto que es una cuestión muy relevante tanto para el desarrollo del contexto como para tratamiento de cuestiones como la concentración de las disoluciones.

A continuación, se particularizan los indicios de calidad para cada una de las contribuciones que avalan esta Tesis Doctoral por compendio de publicaciones (CP), incluyendo las preguntas de investigación asociadas a cada una de ellas. Los textos completos de las contribuciones de esta Tesis están recogidos en el apartado 6.

CONTRIBUCIÓN CP1 (Artículo)

Título: Representando las disoluciones en el contexto de las bebidas gaseosas

Autores: Joaquín Cañero Arias, Ángel Blanco López y José María Oliva Martínez

Tipo de publicación: artículo

Revista: *Educación Química*

ISSN: 0187-893X

ISSNe: 1870-8404

DOI: 10.22201/fq.18708404e.2022.1.79316

Año: 2022

Publicada por: Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Indicadores de calidad científica de la revista: registrada e indexada en el Chemical Abstracts (Euquim), SJR (Scopus) (cuartil 4, factor de impacto 2020 0.2) y en Latindex (30/33 características cumplidas)

Resumen: Las disoluciones constituyen un núcleo conceptual importante para el aprendizaje de la química. Además, su estudio contextualizado desde la realidad próxima al alumnado, y a través de prácticas de modelización, puede ayudarlos a mejorar el interés por la química. Es por ello que, hemos elegido las bebidas gaseosas como contexto para estudiar las disoluciones en el aula, dentro del marco de una investigación que ensaya, implementa y evalúa una unidad didáctica (UD) que combina estrategias de contextualización y modelización. En concreto, en este artículo se pretende caracterizar las representaciones finales que utilizan estudiantes de 15 años, con objeto de detectar dificultades y obstáculos a tener en cuenta para mejorar dicha unidad. Los resultados obtenidos muestran la necesidad de mejorar el desempeño del alumnado para representar, a nivel submicroscópico, los ingredientes constituyentes, particularmente del agua y del dióxido de carbono en la disolución, e intensificar las conexiones existentes entre las representaciones a este nivel y las propiedades de la disolución. Los resultados también proporcionan un indicador del potencial y de las limitaciones de la UD empleada para favorecer la construcción en los estudiantes de un modelo de la disolución acorde con el de la ciencia escolar.

Preguntas de investigación a las que responde: P3, P4 y P5 (Estudio 2).

CONTRIBUCIÓN CP2 (Artículo)

Título: “¡Los gases sí se disuelven!” Modelizando en el contexto de las bebidas gaseosas

Autores: Joaquín Cañero Arias, Ángel Blanco López y José María Oliva Martínez

Tipo de publicación: artículo

Revista: *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*

ISSN: 1133-9837

ISSNe: 2014-4733

Año: 2020

Publicada por: Editorial Graó

Indicadores de calidad científica de la revista: Indexada en Carhus+, Cindoc (isoc), Dialnet, DICE, ERHI, In-Recs, Latindex (32/33 características cumplidas), Redined y Resh

Resumen: se presentan las actividades de modelización realizadas con estudiantes de 2º de Educación Secundaria Obligatoria, en la secuencia “Deconstruyendo las bebidas gaseosas” que integra los enfoques de contextualización y modelización. La secuencia de actividades ha ayudado a los estudiantes a interiorizar la idea de que los gases se disuelven en los líquidos y a mejorar sus modelos sobre el estado y el comportamiento del gas en las bebidas gaseosas.

Preguntas de investigación a las que responde: P6 y P7 (estudio 3).

CONTRIBUCIÓN CP3 (Capítulo de libro)

Título: Diseño de una secuencia de actividades para el aprendizaje de las disoluciones mediante modelización en el contexto de las bebidas gaseosas

Autores: Joaquín Cañero Arias, Ángel Blanco López y José María Oliva Martínez

Tipo de publicación: capítulo de libro

ISBN: 978-84-18058-95-0

Publicado por: Editorial GRAÓ

Lugar de publicación: Barcelona

Año: 2021

Indicadores de calidad científica de la publicación: indexada en base de datos SPI (Scholarly Publishers Indicators in Humanities and Social Sciences), categoría Educación, editoriales españolas, ICEE 137, posición 2/53, cuartil 1, 2018

Resumen: el desarrollo de prácticas científicas se considera hoy en día una de las grandes finalidades de la educación científica. Dentro de aquellas, los modelos y la modelización pueden ser un núcleo esencial en torno al que vertebrar el aprendizaje de la ciencia escolar. Esta importancia queda reconocida al asumir que el alumnado debe aprender modelos, saber cómo aplicarlos, reconstruirlos y evaluarlos. Por otro lado, también existen acuerdos para relacionar la ciencia con la vida diaria del alumnado, en este sentido se considera importante la contextualización de la enseñanza de las ciencias.

Con objeto de integrar ambos planteamientos didácticos se ha diseñado, implementado y evaluado una unidad didáctica titulada “Deconstruyendo las bebidas gaseosas” para alumnos entre 13-15 años y cuya finalidad es la ayudar al alumnado a entender los procesos de disolución, especialmente de gases en líquidos, a través de prácticas de modelización y la preparación in situ de una bebida gaseosa. En este capítulo se describen las características más destacadas de dicha secuencia, las actividades que la conforman y finalmente se discuten algunos de los resultados obtenidos y se realizan propuestas de mejoras que pueden orientar a otros docentes para implementaciones posteriores.

Preguntas de investigación a las que responde: P6 y P7 (estudios 2 y 3).

2. RESULTADOS

Los resultados que se muestran en este capítulo están organizados en torno a cada uno de los estudios descritos y, a su vez, alrededor de las preguntas de investigación formuladas.

Con objeto de ayudar a la lectura de los resultados obtenidos en esta investigación, para cada pregunta de investigación se presenta, de forma resumida, la metodología utilizada para recoger los datos. Con igual propósito, al comienzo del estudio 2 se presenta un resumen de la unidad didáctica desarrollada. El lector puede encontrar una descripción detallada de la misma en las contribuciones CP3 y CC4. Adicionalmente, el tratamiento de la secuencia de actividades de modelización se recoge en la CP2, mientras que la cuestión acerca del consumo de azúcar se aborda en la CC6.

2.1. Resultados del estudio 1

P1. ¿Cuáles son los hábitos de consumo y creencias de los estudiantes de secundaria en torno a las bebidas gaseosas? (CC2)

Se trataba de analizar los hábitos de consumo y las creencias sobre la salubridad de las bebidas gaseosas en una muestra de alumnado de ESO. Dicho estudio resultaba importante teniendo en cuenta que nos proporcionaría información muy valiosa sobre la vinculación de los estudiantes con el fenómeno estudiado, paso previo a considerar el mismo como un contexto de interés para situar procesos de aprendizajes de la química.

Se elaboró un cuestionario de preguntas abiertas y cerradas que constaba de dos partes diferenciadas, la primera centrada en los hábitos de consumo y conocimientos acerca de la salubridad, composición y fabricación de bebidas gaseosas, que es sobre la que situaremos el foco de atención en este momento. El cuestionario, previamente ensayado y modificado tras ser aplicado en una muestra piloto, se administró a 119 alumnos de 2º (n=55), 3º (n=41) y 4º (n=23) de ESO, durante el último trimestre del año 2015 en el Colegio La Presentación de Málaga donde el investigador principal desarrollaba su labor como docente. En concreto, el grupo de 23 alumnos de 4º cursaba la asignatura de Física y Química. El alumnado en su mayoría se enmarcaba en un perfil socioeconómico medio-alto sin absentismo escolar. Los resultados mostraron hábitos de consumo variados pero frecuentes en la mayoría de los casos, con un 29% que consume bebidas gaseosas a diario o de manera frecuente, un 29% también que lo hace de vez en cuando y sólo

un 21% que dice consumirlo de forma esporádica. Igualmente es destacable que la gran mayoría, aproximadamente el 77% de la muestra, afirmó que el consumo de bebidas gaseosas no aporta beneficios para la salud, siendo apenas un 3% el que afirmaba que las bebidas sí son saludables.

En conjunto, los resultados indicaron que el consumo de bebidas gaseosas estaba bastante normalizado entre el alumnado, y que la mayoría percibía a las mismas como no saludables, debido al azúcar y al gas, lo cual sitúa a estas disoluciones como un contexto adecuado para la enseñanza-aprendizaje de las disoluciones,

P2. ¿Qué características tienen y qué grado de articulación en torno a modelos poseen las ideas de los alumnos acerca la composición de una bebida gaseosa? (CC3)

Para la exploración de las ideas y posibles modelos de los estudiantes sobre la estructura y composición de una bebida gaseosa, se trabajó con los datos recabados de la misma muestra descrita en la pregunta de investigación anterior. En concreto, la segunda parte del mismo cuestionario empleado anteriormente contaba con una tarea en la que, a través de una secuencia de dibujos, los estudiantes debían representar sucesivamente, en distintos dibujos, el sistema resultante tras la progresiva adición de los distintos ingredientes de la disolución (primero el agua, luego el azúcar y finalmente el gas), hasta finalmente obtener la bebida gaseosa final, tanto sin envasar como ya envasada (figura 3).

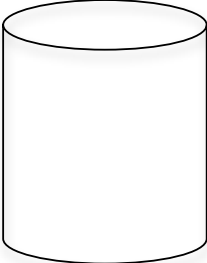
CUESTIONARIO DE IDEAS PREVIAS BEBIDAS GASEOSAS (II)

6. Una forma simple de obtener una bebida gaseosa es añadir primero el azúcar al agua y después el gas. Las bebidas gaseosas pueden llevar más componentes pero estos tres son los esenciales.

Suponiendo que dispusieses de unas gafas muy potentes con las que pudieses ver extraordinariamente ampliadas las moléculas de agua, azúcar y gas ¿Cómo crees que las verías?

Para ello, haz un dibujo en cada uno de los pasos hasta la obtención final de la bebida.

Dibujo 1

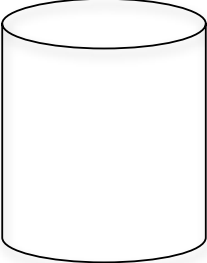


Agua

Se añade azúcar

→

Dibujo 2

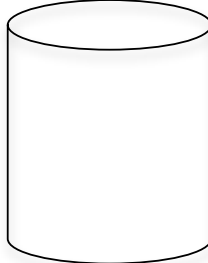


Agua + Azúcar

Se añade gas


→

Dibujo 3



Agua + Azúcar+ Gas

Dibujo 4



La bebida se envasa y se cierra la botella

←

Explica tus dibujos indicando qué significado tiene cada cosa que representas.

Figura 3. Tarea diseñada para la representación y explicación de la mezcla de agua, azúcar y gas

Asimismo, debían justificar el porqué de cada una de sus representaciones, combinando así información pictórica y verbal. A partir de las respuestas aportadas en los dos últimos dibujos, en los que aparecían los tres ingredientes simultáneamente, sin y tras embotellar (dibujos 3 y 4, respectivamente en la figura 3), logramos identificar rasgos o características en las respuestas que nos permitían diferenciar unas de otras, e incluso encontrar algunas regularidades que posibilitaban efectuar clasificaciones. No obstante, para ello fue preciso identificar distintas dimensiones de análisis y estudiar cada una por separado, ya que no fue posible identificar modelos de conjunto que articularan ideas de distinto tipo.

El examen de las representaciones sugirió que un dibujo prototípico de la etapa de pre-embotellado tendría las siguientes características: una representación macroscópica del agua y una representación submicroscópica del gas y el azúcar, con los componentes distribuidos heterogéneamente (figura 4).

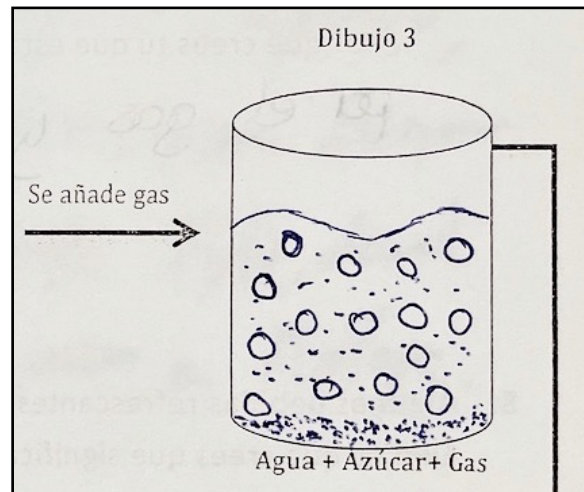


Figura 4. Ejemplo de dibujo prototípico para la etapa pre-embotellado

En general, por lo tanto, las representaciones de los estudiantes no se corresponden con los conceptos en los que se basa la teoría cinética molecular. En la segunda parte de la tarea, no hubo cambios importantes con respecto al primer juego de dibujos, aunque sí surge una ligera tendencia a mostrar la bebida como una mezcla homogénea. Así, los dibujos prototípicos obtenidos para la etapa posterior, el embotellado (figura 5), muestran representaciones de carácter macroscópico y submicroscópico de la materia que difieren en las distribuciones de los ingredientes, ya que podemos encontrar representaciones homogéneas y heterogéneas para la misma mezcla.

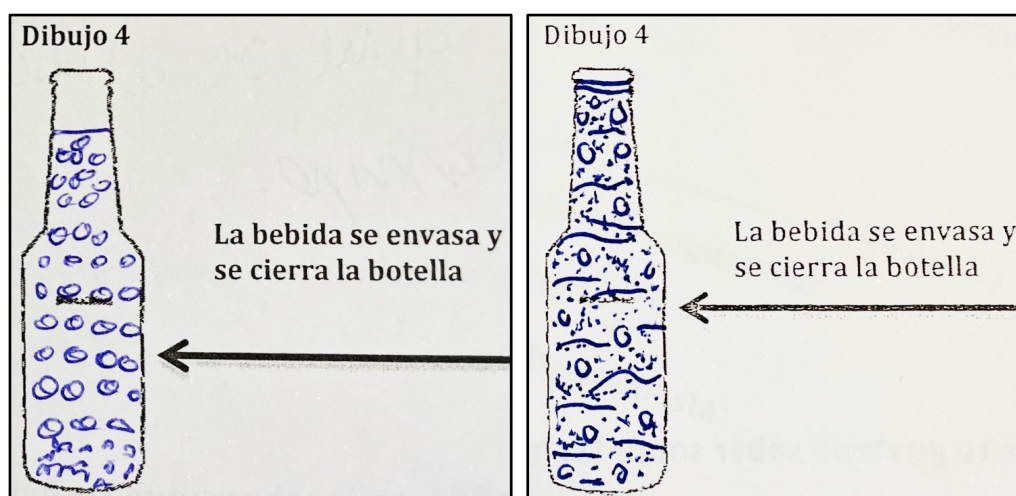


Figura 5. Ejemplos de dibujos prototípicos para la etapa embotellado

Para ahondar en el análisis, se seleccionaron las características de las representaciones de los estudiantes que pudieran tener más relevancia para

demarcar un modelo de disolución. Así, para cada uno de los componentes (agua, azúcar y gas) se identificó la forma de representación (macroscópica, submicroscópica, simbólica), tanto en el dibujo 3 como en el dibujo 4. Con relación a la mezcla, se definió si el dibujo era homogéneo o heterogéneo, y se establecieron diferentes perfiles para la idea de movimiento, en relación con la interacción de los distintos componentes de la mezcla. Esta última variable se reformuló más adelante durante el avance de la investigación como parte de la evolución del proceso de mejora de categorización de las representaciones de los estudiantes. Todo el proceso se realizó de forma independiente por dos de los tres miembros del equipo investigador, consensuando, en una única sesión conjunta, los casos en los que se encontró alguna discordancia, a continuación (tabla 1) se muestra un ejemplo de la categorización para un estudiante de 2º ESO.

Estudiante	Dibujos	Categorías				
		Macro	Submicro	Simbólico	Homogeneidad/Heterogeneidad	Movimiento
1	Dibujo 3: Agua+Azúcar+Gas	X	X	X	Heterogeneidad	No
	Dibujo 4: Botella	X		X	Heterogeneidad	No

Tabla 1. Ejemplo de categorización de las representaciones del estudio 1

En primer lugar, realizamos un estudio descriptivo apoyado en las distribuciones de frecuencias para las distintas categorías. En el dibujo 3 (bebida sin envasar), casi el 90% de las representaciones recurrían al nivel submicroscópico, aunque más de dos tercios de los estudiantes (70%) recurrieron también al nivel macroscópico. Muy pocos, sin embargo, recurrieron al nivel simbólico de representación (10%). Por otro lado, solo algo más de un tercio del alumnado (34%) concebía la disolución como algo homogéneo, y solo un 14% contemplaba el movimiento como una cualidad presente dentro de la misma. Por su parte, en el dibujo 4 (bebida envasada), las distribuciones de frecuencias fueron muy similares, si bien se detectaba una menor frecuencia de respuestas que recurriesen al nivel de representación submicroscópico. De hecho, solo lo hicieron el 68% de los estudiantes.

Los datos reportados por este estudio descriptivo nos permiten solo conocer cuáles fueron las respuestas mayoritarias a nivel de muestra, pero no las combinaciones de categorías que concurrían para cada estudiante en particular. Por tanto, no nos permite detectar regularidades en la manera de articular las ideas manejadas y, por tanto, de identificar la posible existencia o no de modelos. Con todos los datos ya categorizados, se llevó a cabo una exploración de los posibles modelos globales de los estudiantes. Dado que se manejaban varias variables, con distintos niveles de respuesta en cada uno, se realizó para ello un

análisis de correspondencias múltiples para datos categóricos, identificando como variables cada una de las dimensiones contempladas y como valores de la misma las categorías que, para cada una de éstas, fueron delimitadas. Los resultados obtenidos se representan de forma gráfica en las figuras 6 y 7, en las que se muestran en un plano bidimensional la posición de distintas categorías de las variables, de modo que la proximidad entre ellas puede entenderse como un indicador del grado de relación que mantienen entre sí. De este modo, podemos identificar qué categorías parecen encontrarse más relacionadas entre sí, es decir, que concurren más frecuentemente dentro de un mismo sujeto.

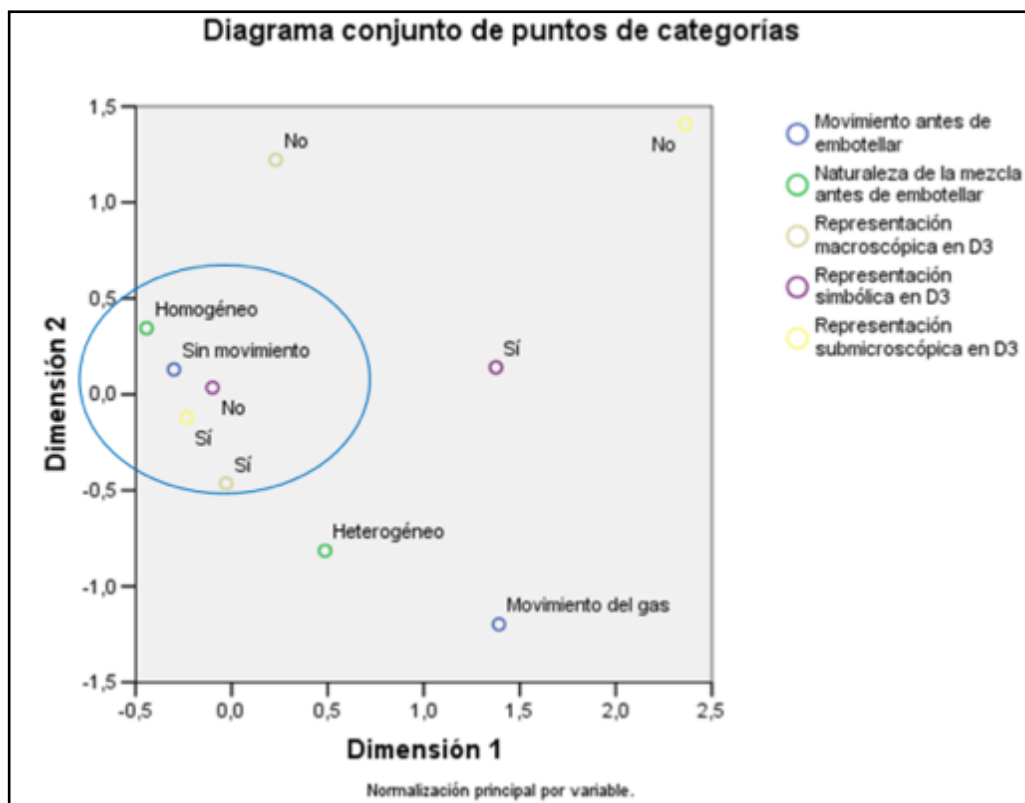


Figura 6. Diagrama análisis multivariantes de los dibujos D3 (sin embotellar)

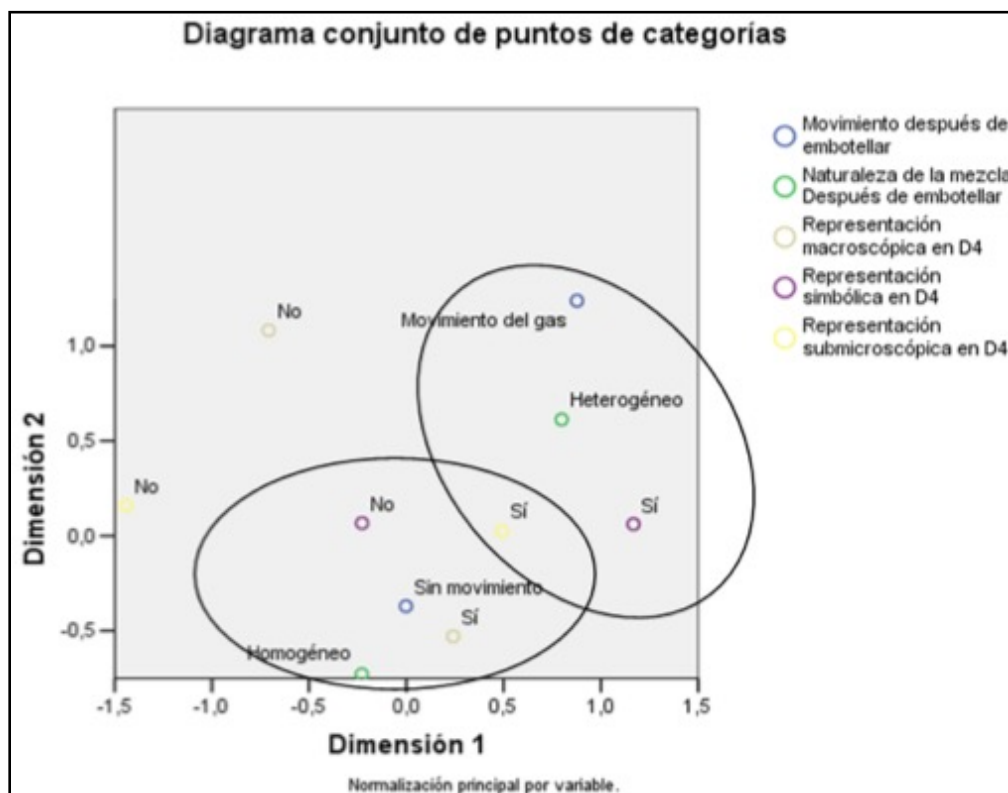


Figura 7. Diagrama análisis multivariables dibujos D4 (tras embotellar)

En el dibujo 3 (figura 6) aparece un prototipo de ideas con cierta solidez que combina una visión homogénea de la disolución, con niveles de representación tanto macroscópica como submicroscópica y ausencia de movimiento en las partes componente. Este prototipo se corresponde con la visión que parece mayoritaria, según vimos antes. En el caso del dibujo 4 (figura 7), aparece por el contrario dos núcleos de ideas, una semejante a la anterior y otra conformada por las cualidades de “movimiento”, “heterogéneo”, “macroscópico” y “representación simbólica”. En ninguno de los casos, el nivel submicroscópico aparece ligado suficientemente a la cualidad de movimiento, ni el movimiento se encuentra ligado a la homogeneidad, relaciones ambas que constituyen, como sabemos, pautas centrales de un modelo cinético-molecular. Quiere esto decir que las explicaciones de los estudiantes se mostraban alejadas de la explicación que proporcionaría la ciencia escolar.

Cuantitativamente, y en término globales, una forma de constatar la presencia o no de ideas articuladas en torno a modelos es analizar los índices de consistencia interna que proporcionan este tipo de análisis, por ejemplo, a través del coeficiente *Alfa de Cronbach*. En este sentido, los valores resultantes fueron bastante bajos, concretamente de $\text{Alfa} = .35$ para las bebidas sin envasar (dibujo 3), y de $\text{Alfa} = .40$ para la bebida una vez envasada (dibujo 4). Estos datos sugieren un escaso nivel de vinculación entre las respuestas aportadas por un mismo alumno a lo largo de las diferentes dimensiones, lo que nos impide hablar de modelos bien definidos y nos empujan a hablar más bien de la presencia de concepciones dispersas.

Resultado de los datos que se recogieron durante el estudio, pudo comprobarse que las bebidas gaseosas podrían ser un buen contexto para la enseñanza de las disoluciones. Se trata de un contexto cotidiano próximo a los estudiantes, de interés y relevancia para la vida diaria por las implicaciones que tiene para la salud sus hábitos de consumo, y se trata de un fenómeno en torno al que los estudiantes ya tienen ideas alternativas preconcebidas que conviene tener en cuenta con vistas a su aprendizaje.

2.2 Descripción de la secuencia didáctica

Tomando en consideración la información y conclusiones del estudio 1, se realizó el diseño de la unidad didáctica “Deconstruyendo las bebidas gaseosas”, con objeto de realizar la implementación de la misma en 3º de ESO, durante el estudio 2.

Como se ha indicado anteriormente, la secuencia didáctica diseñada combina los enfoques de contextualización y modelización en el ámbito de las disoluciones en el contexto de las bebidas gaseosas. Su finalidad principal no es solo que el alumnado aprenda modelos de disolución, sino que se implique en tareas de modelización, es decir, que sea capaz de generar modelos, aplicarlos, revisarlos y reelaborarlos, y así adquiriera las competencias necesarias para un adecuado desempeño, sabiendo evaluar la utilidad y limitaciones de cada uno de ellos (Justi y Gilbert, 2002; Justi, 2006). Y, unido a ello, se trataba también de que tomara conciencia sobre el problema del consumo excesivo de azúcar que se asocia con las bebidas gaseosas. La unidad se estructura de una manera flexible en torno a 14 actividades de aprendizaje y la parte central de la misma gira en torno a la preparación en clase de una bebida gaseosa. En la tabla 2 se describen dichas actividades, indicando para cada una de ellas qué aspectos del contexto (bebidas gaseosas) se abordan, cuáles de modelización, así como el contenido curricular de química implicado.

Sesión	Act.	Título/Breve descripción	Aspecto del contexto	Aspecto de la modelización	Contenido curricular de Química
1	A1	Presentación de la Unidad			
	A2	Entrando en materia Cumplimentación de un cuestionario para la explicitación de ideas de los estudiantes que incluye la siguiente tarea: Dibujar y explicar cómo se produce una bebida gaseosa con tres ingredientes principales en tres estados diferentes: agua, azúcar y gas.	Hábitos de consumo. Opinión sobre si son saludables. Análisis de publicidad. Contenido en azúcar.	Elaboración de un modelo inicial individual (MI1), sobre la disolución de un gas y un sólido en un líquido.	Disolución de un gas y sólido en un líquido. Concepto de concentración.
2	A3	¡Para ellos, para ellas! Videoforum sobre un anuncio publicitario de una bebida gaseosa.			
	A4	En titulares Lectura de titulares de noticias sobre la cantidad de azúcar presente en bebidas gaseosas. Creación de titulares y elección del mejor para una campaña informativa.	Consumo. Problema de salud: consumo excesivo de azúcar.		
3	A5	¿Cuánta azúcar tiene una...? Hagamos cálculos Visualización de la cantidad de azúcar presente en diferentes envases de la bebida. Explicación de la disolución del azúcar. Cálculos de concentraciones.			Concepto de sustancia pura Tipos de mezclas. Concepto de disolución. Concepto de concentración.
	A6	¿Qué hay dentro de una...? Análisis de la composición de una bebida carbonatada. Reflexión sobre el sabor amargo de la bebida Indagación sobre la procedencia y función del gas en la bebida.	Composición		Preparación de disoluciones con una concentración dada
4	A7	¿De fuera hacia adentro? Visionado y análisis de un vídeo que muestra los niveles de organización de la materia (macro, micro y submicroscópico). Realización de nuevo de la tarea descrita en a A2.	Elaboración	Elaboración de un segundo modelo individual (MI2) y de un primer modelo consensuado (MC1). Comparación de ambos modelos	Diferenciación entre los ámbitos macro y submicroscópico.
5	A8	Preparamos la bebida Se prepara una bebida con agua, azúcar y gas a presión y a continuación se explica lo sucedido: "¿qué modelo explicaría el aspecto de la disolución?" Dibujar y explicar la disolución.	Elaboración	Elaboración de MI3 y MC2. Comparación de MC1 y MC2.	Preparación de disoluciones con una concentración dada.

	A9	Segunda preparación de la bebida Se vuelve a preparar la bebida añadiendo ahora colorantes, se calcula su concentración y se modeliza el proceso		Evaluación individual del MC2 después de la segunda preparación	
6	A10	¿Y qué pasa con el gas? Explicar por qué el agua de un vaso a temperatura ambiente y presión atmosférica no se llena de CO2 Experiencia de predicción-observación-explicación (POE) sobre lo que sucede cuando se abren con dos latas de la misma bebida a distintas temperaturas. Repaso de los conceptos científicos tratados hasta el momento	Efecto de la temperatura en el desprendimiento del gas.	Uso del MC2 para explicar de forma individual las experiencias visualizadas Construcción de una MC3	Influencia de la presión y la temperatura en la solubilidad de un gas en un líquido
7	A11	¿Cómo lo explican los científicos? Presentación de un modelo científico escolar sobre la disolución de sólidos y gases en líquidos (material suplementario 1) y su utilización para explicar fenómenos		Comparación del MC3 con el modelo científico escolar (MCE). Uso del modelo científico para explicar la experiencia POE	Modelo de la disolución en términos de atracción entre los componentes del soluto y disolvente
	A12	¿Qué son las burbujas? (actividad introducida en el estudio 3) Lectura sobre la composición de las burbujas de las bebidas gaseosas. Dibujar y explicar el contenido de un vaso de bebida gaseosa sin burbujas	Bebida gaseosa sin burbujas.	Elaboración de un MI4 sobre una bebida gaseosa sin burbujas.	Composición de las burbujas
8	A13	Campaña informativa Elaboración de un tríptico sobre el consumo de bebidas gaseosas y la salud.	Consumo; problema de salud: consumo excesivo de azúcar.		
9	A14	Revisando y sintetizando lo aprendido Síntesis y revisión de los aprendizajes, incluyendo la tarea: Dibujar y explicar cómo se produce una bebida gaseosa con tres ingredientes principales en tres estados diferentes: agua, azúcar y gas.	Análisis de publicidad. Contenido de azúcar. Opinión sobre si son saludables.	Elaboración de un MI5 sobre el contenido de una bebida gaseosa	Concepto de concentración. Cálculos asociados. Efecto de la T en la solubilidad de un gas en un líquido. Interpretación de curvas.

Tabla 2. Descripción de los aspectos más relevantes de la secuencia didáctica “Deconstruyendo las bebidas gaseosas”

Como puede apreciarse en la tabla 2, el contexto de las bebidas gaseosas constituye el eje que estructura la unidad didáctica ya que está presente durante todo su desarrollo. Las actividades de modelización se van introduciendo, por un lado, para facilitar a los estudiantes la base que necesitan para comprender los fenómenos relativos al contexto y, por otro, para facilitar el aprendizaje de contenidos de química incluidos en el currículo oficial en España (Real Decreto 1105/2014). Tanto al comienzo como al final de la unidad, se aborda el problema para la salud, relacionado con el consumo de bebidas gaseosas y su elevada proporción de azúcar y su influencia en la obesidad. En este sentido, al final de la unidad, los estudiantes han de elaborar una campaña informativa para concienciarse ellos mismos de este problema y extenderlo a sus compañeros y compañeras del centro y al resto de la comunidad educativa.

2.3 Resultados del estudio 2

P3. ¿Cómo representaron los y las estudiantes, las sustancias y las especies químicas presentes en la disolución tras finalizar la intervención? (CP1)

Los resultados de esta pregunta de investigación (P3) están relacionados con la evaluación de los resultados obtenidos tras la primera implementación completa de la unidad didáctica. Ésta se desarrolló durante el curso 2016-2017, siendo impartida por el autor de esta tesis que jugó el papel de docente-investigador. En el desarrollo del estudio participaron 50 estudiantes de 3º de ESO del Colegio La Presentación de Málaga, con una edad media de 15 años.

Tras finalizar la implementación, se administró a los participantes una prueba de evaluación de los conocimientos y habilidades adquiridos. En la primera tarea de la prueba se solicitaba a los estudiantes lo siguiente: *“Utilizando lo que has aprendido explica detenidamente qué son las bebidas gaseosas y cómo se elaboran. Acompaña tú explicación con un dibujo que los represente”*.

Se recogieron las respuestas de 44 de los estudiantes. De nuevo en este caso los datos se procesaron desde una visión analítica en la se definían distintas dimensiones, cada una de las cuales se estudiaba por separado. Pero, a diferencia del estudio anterior, las categorías de cada dimensión se definieron a modo de rúbrica, expresando varios niveles de progresión para cada dimensión, ordenados en función de su proximidad al punto de vista de la ciencia escolar. Estas rúbricas fueron diseñadas teniendo en cuenta la literatura disponible sobre las ideas y los modelos de los estudiantes acerca de los niveles de representación de la materia (Laing, 1999) y sobre las características más relevantes de las disoluciones (Çalik,

Ayas y Ebenezer, 2005). Se diferenciaron seis dimensiones, tres relativas a la representación de cada uno de los componentes principales de la bebida (agua, azúcar y dióxido de carbono) y otras tres para atributos relevantes de una disolución como sistema material (homogeneidad, desorden, interacción) (Tabla 3). Tras varias sesiones de trabajo para acordar criterios de valoración, la evaluación fue realizada independientemente por el autor de la presente tesis y por otra investigadora ajena totalmente al estudio, consiguiendo un alto acuerdo entre sus apreciaciones. De hecho, a lo largo de toda la rúbrica se obtuvo por término medio, un grado de acuerdo entre jueces del 96,6 % e índices Kappa de Cohen ponderados con un valor medio de $k=0,94$, valores que evidencian la fiabilidad del proceso de categorización.

DIMENSIONES/NIVELES DESEMPEÑO	I	II	III	IV	V
NIVELES DE REPRESENTACIÓN	No hay representación	Las representaciones aportadas son de tipo macroscópica. Por ejemplo, se incluye una línea para representar el agua, líneas onduladas para dar sensación de relleno y/o espirales para representar al gas, o pequeños cuadrados o líneas cortas para el azúcar.	Se superpone una representación macroscópica y/u otra submicroscópica, esta última presentada mediante dibujos icónicos con círculos o puntos que aluden a lo que pueden ser unidades moleculares, aunque no llega a desglosarse en los átomos que lo componen. Un círculo, por ejemplo, puede representar una molécula de agua.	Representación submicroscópica y/o simbólica, en la que los dibujos representan unidades moleculares que no llegan a desglosarse en los átomos que lo componen. Un círculo, por ejemplo, puede representar una molécula de agua.	Representación submicroscópica, con iconos que representan no sólo a las moléculas en su conjunto sino a los átomos que la integran e incluso pueden aparecer los enlaces que participan.
HETEROGENEIDAD/HOMOGENEIDAD	No hay representación	El gas y/o el azúcar pueden aparecer separados del resto.	La representación presenta una distribución no homogénea (heterogeneidad) del gas por todo el recipiente. El resto de ingredientes presentan una distribución homogénea.	La representación presenta distribución homogénea, pero puede aparecer en la zona superior del dibujo una mayor concentración del gas que de una idea parcial de heterogeneidad.	La representación muestra una distribución homogénea. No existen zonas del dibujo donde se observe una mayor concentración de algún componente que den idea de heterogeneidad.
ORDEN/DESORDEN	No procede, bien porque no hay representación o porque la representación del componente no permite la categorización	Todos los componentes representados siguen una distribución regular o están perfectamente ordenados.	Algunos componentes representados siguen una distribución regular o están parcialmente ordenados, y otros no.	Todos los componentes se encuentran desordenados.	
AGRUPACIÓN/DISPERSIÓN	No hay representación	Todos los componentes representados están unidos formando una identidad, aunque alguno también aparezca repetido y separado del resto.	Dos de los componentes representados están unidos formando una identidad.	Ninguno de los componentes representados se encuentra unido a otro/s formando una identidad.	

Tabla 3. Rúbrica analítica diseñada para evaluar las representaciones de los estudiantes

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos al aplicar la rúbrica a las dimensiones correspondientes a los componentes de la disolución.

Dimensión "Niveles de representación"	Nivel				
	I	II	III	IV	V
<i>Del agua</i>	3	11	10	11	9
<i>Del azúcar</i>	8	3	0	31	2
<i>Del dióxido de carbono</i>	6	11	2	21	4

Tabla 4. Distribuciones de frecuencias por niveles de representación para las distintas sustancias componentes de la bebida

Como puede verse en la tabla 4, las respuestas se ajustan a todos los niveles de la rúbrica, excepto en el nivel III de la representación del azúcar, en el que no se ubicó ningún estudiante. Este hecho constata que la rúbrica es pertinente y válida para la categorización de los datos disponibles. Por otro lado, puesto que todas las respuestas encuentran una categoría donde ubicarse, y no se requieren otras diferentes a las previstas, se infiere que la rúbrica es completa.

Además, se constatan frecuencias de representación repartidas equilibradamente entre los cinco niveles en el caso del agua. Por su parte, en el caso del azúcar, como también en el del dióxido de carbono, las distribuciones de frecuencia parecen más polarizadas hacia los extremos, con valores mínimos en la categoría central. Los niveles mayoritarios fueron el II y el IV en el caso del agua, y el IV en el caso del azúcar y del dióxido de carbono. Por otro lado, sólo en el caso del agua los dibujos de los alumnos descendieron a detalles de la composición atómica (nivel V), en concreto, uno de cada cinco lo hicieron. Según esto, las representaciones mayoritarias correspondieron al nivel submicroscópico y/o simbólico, aunque en estrecha competencia con las representaciones macroscópicas y mixtas (macroscópicas y submicroscópicas superpuestas), especialmente en el caso del agua y del dióxido de carbono (Cañero et al., 2019).

Estos resultados concuerdan con los de la bibliografía que señala la dificultad para realizar espontáneamente interpretaciones de este tipo (Kind, 2004; Trinidad y Garritz, 2003), aunque este problema para representar el agua y el dióxido de carbono en términos submicroscópicos o simbólicos, probablemente, tenga distintos motivos. Así, en el caso del agua, puede provenir del intento del estudiante por destacar el papel de esta como disolvente de la disolución, atribuyéndole un papel diferenciado del soluto. De hecho, cerca de uno de cada cuatro estudiantes aportaron representaciones mixtas que compatibilizaban la visión submicroscópica y la macroscópica. Estos modelos mixtos pueden entenderse como pasos intermedios en el progreso de los estudiantes sobre la

naturaleza de la materia (Blanco y Prieto, 2004). Mientras tanto, en el caso del dióxido de carbono, esas dificultades podrían provenir de limitaciones para conceptualizar los gases como entidades materiales (Furió et al., 1987), similares a la de los sólidos y líquidos (Novick y Nussbaum, 1981). De hecho, en este caso, uno de cada cuatro estudiantes utilizó representaciones compatibles con un modelo macroscópico, y uno de cada siete no incluyó dicho componente en sus representaciones. No obstante, los resultados fueron bastante aceptables para el azúcar, probablemente al otorgarle el estatus de un sólido como cuando se encuentra fuera de la disolución.

P4: ¿Qué características de las disoluciones líquidas están presentes en los modelos de los estudiantes? (CP1)

Al igual que en la anterior, los resultados aportados en relación a esta pregunta están relacionados con la evaluación de los resultados obtenidos tras la primera implementación de la unidad didáctica. De nuevo, aquí se abordó una estrategia analítica contemplando distintas dimensiones de análisis y estableciendo una rúbrica para cada una, de acuerdo a la proximidad de la respuesta al punto de vista de la ciencia escolar.

La tabla 5 muestra las distribuciones de frecuencia para las dimensiones relativas a las características de las disoluciones líquidas, asociada a la rúbrica utilizada en la categorización de los modelos de los y las estudiantes de 3º de ESO, rúbrica que se mostró con anterioridad en el desarrollo de la pregunta P3.

Dimensión	Nivel alcanzado				
	I	II	III	IV	V
Heterogeneidad/Homogeneidad	2	0	6	16	20
Orden/Desorden	3	2	3	36	*
Agrupación/Dispersión	3	2	9	30	*
* Este nivel no está definido en esta dimensión					

Tabla 5. Distribuciones de frecuencias por niveles de las dimensiones relativas a las características de las disoluciones líquidas

De nuevo en este caso, los datos presentados muestran que todas las casillas tienen representación, salvo el nivel II de la dimensión Heterogeneidad/Homogeneidad. Como se aprecia en la tabla 5, los datos son asimétricos apareciendo una fuerte polarización hacia niveles altos de la rúbrica. Así, los estudiantes mostraron por lo general buen desempeño en estas dimensiones, ya que las proporciones más altas de estudiantes se situaban en los niveles más avanzados de la rúbrica. De hecho, casi cinco de cada seis estudiantes concebían la disolución como un sistema

homogéneo (nivel V) o cuasi-homogéneo (nivel IV); la misma proporción representa todos los componentes desordenados, y algo más de dos tercios representa la disolución sin que los componentes aparezcan agrupados en una misma entidad (nivel IV). Por otro lado, una cuarta parte de los estudiantes mostraban, en su representación, la agrupación de especies químicas de dos o los tres componentes, lo que podría incluir la idea de que la disolución es algo más que una mezcla de sustancias (Fernández, Trigueros y Gordo, 1988; Sanmartí, 1989; Blanco, 1995).

P5. ¿Cómo articulan distintas ideas en sus representaciones? (CP1)

También en este caso, los datos que presentamos se refieren al desempeño del alumnado tras completar la unidad didáctica, Con objeto de analizar cómo articulaban los estudiantes sus respuestas a lo largo de las diferentes dimensiones, se llevó a cabo un análisis de cluster. Dicho análisis presenta la ventaja respecto al análisis de correspondencias realizado en el estudio 1, en que en este caso el foco se sitúa en las variables y no tanto en las categorías de cada una, lo que permite estudiar la proximidad entre éstas últimas. La figura 8 recoge el dendrograma resultante.

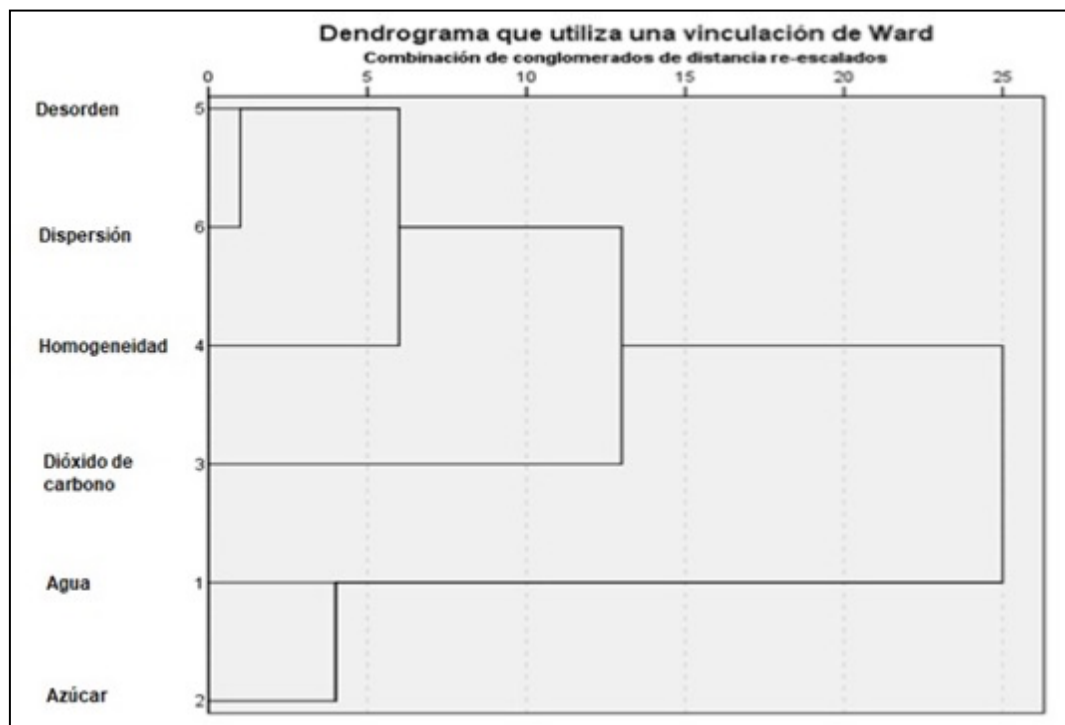


Figura 8. Dendrograma para el análisis de clúster (el eje horizontal indica distancia entre variables)

Dicha representación expresa de forma gráfica, a través de un diagrama de árbol, las agrupaciones que van surgiendo entre variables al estimar el grado de similitud entre sus respectivos valores en la rúbrica. Éste ha de leerse de izquierda a

derecha, de modo que los *clusters* conformados para distancias menores (más a la izquierda) pueden considerarse más próximos y ligados, mientras lo que se crean para distancias mayores (más a la derecha) estarían más desconectados.

Los resultados sugieren una coherencia interna solamente parcial, identificándose dos *clusters* bien definidos. Uno está integrado por las dimensiones Orden/Desorden, Agrupación/Dispersión y Heterogeneidad/Homogeneidad, y a mayor distancia, también por el dióxido de carbono. Ello es coherente con el hecho de que el dióxido de carbono fuera habitualmente el componente responsable de la heterogeneidad de la disolución, de forma que, en los modelos de los estudiantes, esta sustancia permanece separada del resto de la disolución. Es de esperar, por tanto, que un mejor desempeño de los estudiantes en la representación submicroscópica de esa sustancia conlleve una mayor facilidad para concebir la disolución como un sistema homogéneo, de componentes independientes y desordenados.

El otro clúster está integrado por el agua y el azúcar; esto es, los componentes sólidos y líquidos de la disolución. Por otro lado, ambos clústeres se relacionan muy poco entre sí. En este sentido, que el dióxido de carbono se encuentre distante y separado de ese cluster es coherente con un mayor desconocimiento acerca del papel de este componente en la disolución. Estos resultados constatan las conclusiones de otros estudios, en los que se muestra la dificultad de los estudiantes para integrar el dióxido de carbono en la disolución, probablemente porque están más familiarizados con las disoluciones de sólidos en agua (Uzuntiryaki y Geban, 2005) lo que supone un problema añadido, en conexión con lo señalado anteriormente. Desde el punto de vista químico, esto es coherente con la interpretación de la homogeneidad de una disolución, la cual se entiende como resultado de la separación y desorden de los constituyentes de una misma sustancia, para lo que es necesario conceptualizar la misma en términos de un modelo discontinuo. Estos resultados son coherentes también con los obtenidos en otro estudio realizado (resultados de la pregunta de investigación 1) en el que emplea el método de vinculación inter-grupos a la hora de componer los clústeres, y en cuyo caso el dióxido de carbono quedaba como una dimensión desconectada de los otros dos clústeres (Cañero et al., 2017).

2.4 Resultados de estudio 3

Los resultados obtenidos del estudio 2 mejoraron nuestra comprensión sobre el aprendizaje de los alumnos en el contexto que nos ocupa, y, por otro lado, sirvió también para pulsar el impacto en el aprendizaje de los alumnos del primer diseño didáctico planteado. Fruto del análisis realizado, se elaboró una segunda versión de la secuencia didáctica más completa.

Versión de la secuencia didáctica durante el estudio 3

Como resultado de la evaluación de la implementación de la secuencia didáctica en el estudio 2, se realizaron algunas modificaciones en la versión utilizada en el estudio 3, siendo las más relevantes:

- Modificación de la tarea 6 del Pretest (ver anexo 1), con la idea de dirigir lo menos posible al alumnado cuando tienen que dibujar el interior de una bebida gaseosa, ya que la estructuración en varias etapas de esta actividad en la que iban adicionando los diferentes ingredientes, creemos que reducía en parte la espontaneidad de las representaciones. Por tanto, en lugar de ofrecerles varios recipientes y finalmente una botella vacía, en el Pretest se les mostraba una lata de refresco cerrada y vacía.
- Por último, se introdujo al final de la secuencia una nueva actividad de modelización al final de la SEA (actividad 12, tabla 2), en la que los estudiantes debían imaginar la bebida gaseosa, pero sin burbujas, puesto que, tanto en la puesta en práctica de la secuencia como en el posterior análisis de modelos y la lectura de las explicaciones del alumnado, se detectó que el concepto de burbuja era disruptor a la hora de entender el fenómeno de disolución del gas en el líquido.

Esta secuencia didáctica constituye, por una parte, uno de los resultados de esta tesis, pero conforma también el escenario en el que cobran sentido una serie de preguntas cuyas respuestas nos ayudan a entender cómo aprenden los estudiantes en este ámbito y en qué medida la modelización de las disoluciones en el contexto de las bebidas gaseosas puede resultar un factor facilitador del aprendizaje de los estudiantes en este ámbito.

Este es el marco que sirve para dar sentido a las preguntas de investigación del estudio 3, en el cual se pretendía realizar un seguimiento longitudinal del aprendizaje de los estudiantes.

La segunda implementación de la unidad didáctica se realizó en el curso 2018-2019 con dos grupos de estudiantes (A y B) de 2º curso de Educación Secundaria

Obligatoria (ESO) con una media de edad de 13 años, en el Colegio La Presentación de Málaga. Participaron 58 alumnos de dos grupos, 28 en el A (18 chicas y 10 chicos) y 30 en el B (18 chicas y 12 chicos). En esta ocasión, la unidad didáctica se impartió en 2º de ESO fruto del cambio introducido por la *Ley orgánica para la mejora de la calidad educativa* (Jefatura del Estado, 2013) en el currículo de ciencias de esta etapa educativa (MECD, 2015) Tras la implantación de la citada ley, la asignatura de Física y Química se imparte por primera vez en 2º de la ESO y los contenidos curriculares acerca de las disoluciones se incluyen en este curso. Previamente a la impartición de la unidad didáctica, los estudiantes habían estudiado las propiedades y los cambios de estado de la materia, las leyes de los gases y la teoría cinético-molecular.

P6. ¿Qué clase de modelos usaron los estudiantes para representar el dióxido de carbono en una bebida gaseosa a lo largo del proceso de implementación? (CC7)

El estudio 2 (Cañero-Arias, Blanco y Oliva, 2019) indicaba la necesidad de prestar especial atención al dióxido de carbono, ya que, en las representaciones de los estudiantes, tal y como se ha comentado ya, el gas parecía desconectado del resto de ingredientes, lo que indicaba que su lugar dentro del sistema material (la bebida) no era bien comprendido. Es por ello, que en el estudio 3, el análisis de los modelos de los estudiantes se centró exclusivamente en el gas. Tal y como se ha comentado anteriormente, se trató de un estudio longitudinal a corto plazo, que utilizó como instrumento de recogida de datos el porfolio en el que los alumnos registraron todas sus respuestas, incluyendo aquellas actividades de modelización que son objeto del estudio, en las tenían que evocar el modelo de disolución que tenían en mente.

Por otro lado, conviene señalar que los estudios anteriores se habían realizado con una perspectiva analítica, desde la que se intenta acceder al pensamiento de los estudiantes descomponiendo éste en variables e intentando componer visiones de conjunto mediante técnicas estadísticas. Pero una forma más directa de abordar el problema sería identificando modelos causales globales en los que ubicar cada alumno, ordenados según una trayectoria hipotética de progresión de menor a mayor proximidad al modelo escolar de referencia. Esta es la estrategia seguida en este caso y que nos permitirá disponer de una visión más holística del pensamiento del alumnado, estudiando su coherencia con el modelo científico escolar abordado en la unidad didáctica. Con vistas a ello, se confeccionó una rúbrica emergente que recogía los modelos expresados sobre la situación y el comportamiento del dióxido de carbono en la bebida. Esta rúbrica (tabla 6) fue revisada y afinada en un proceso iterativo llevado a cabo en varias fases para que pudiesen encajar en ella todas las respuestas dadas por el alumnado.

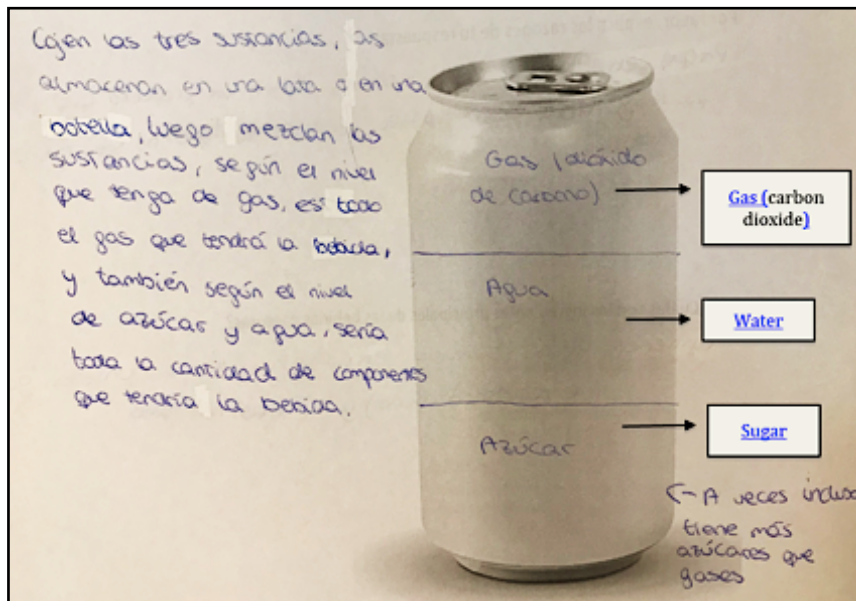
Modelos de los estudiantes		
Nivel	Denominación	Descripción
0		Sin respuesta o respuesta no codificable.
1	<i>Gas fuera</i>	Ignoran el gas o éste no forma parte de la bebida
2	<i>Burbujas</i>	Contemplan el gas como burbuja/espuma/pompas que no forman parte de la disolución (agua y azúcar).
3	<i>Burbujas y algo más</i>	Contemplan al gas como burbujas y a la vez como parte de la disolución, pero sin mencionar que está disuelto.
4	<i>Gas disuelto</i>	Se expresa que el gas está disuelto, añadiendo una representación homogénea del sistema. Sólo ocasionalmente, se habla de burbujas como elementos añadidos.
5	<i>Sobresaturación</i>	Diferencian el gas disuelto del gas en forma de burbuja como producto de la sobresaturación.

Tabla 6. Rúbrica para la categorización de las representaciones y explicaciones acerca del dióxido de carbono en la bebida

Con todas las representaciones realizadas por el alumnado a lo largo de las diferentes actividades de aula se realizó un estudio cualitativo describiendo y analizando la tipología de modelos categorizados. La descripción que se muestra a continuación presenta los cinco modelos identificados, ilustrando cada uno de ellos con ejemplos concretos de respuestas encontradas.

Modelo “Gas fuera”

En este modelo se incluyen las representaciones en las que el gas es representado, de forma continua o como burbuja, es decir, como algo ajeno a la bebida. Unas veces éste se concibe fuera del líquido, situándose en la parte superior del recipiente, mientras que en otras ni siquiera aparece dibujado, omitiendo así su presencia que no se considera integrada en el conjunto (Figura 9).



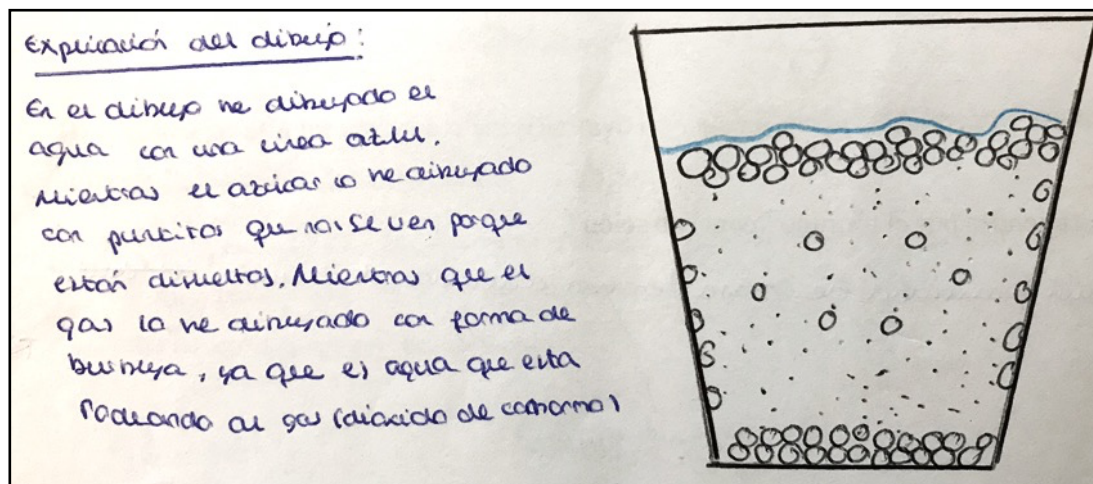
Texto que acompaña a la figura 9: “cogen las tres sustancias, las almacenan en una lata o en una botella. Luego mezclan las sustancias, según el nivel que tenga de gas, es todo el gas que tendrá la bebida, y también según el nivel de azúcar y agua, sería toda la cantidad de componentes que tendría la bebida. A veces incluso tiene más azúcares que gases”.

Figura 9. Ejemplo de respuesta del modelo “Gas fuera” (estudiante 21B)

Este modelo parece mostrar una visión muy limitada del comportamiento de los gases, puesto que no contempla la posibilidad de que puedan mezclarse con líquidos. En su lugar, la interpretación empleada se focaliza en función de ciertas ideas muy interiorizadas desde edades tempranas, en la que los gases mantendrían una tendencia natural a escapar hacia arriba (Stavy, 1990). Este modelo, totalmente macroscópico (Blanco y Prieto, 2004), puede explicarse por el hecho de en ausencia de los conocimientos necesarios, las ideas y decisiones de los alumnos más jóvenes están limitadas por las características superficiales y las apariencias de los objetos o procesos que se estudian (Talanquer, 2009). No se parecen concebir interacciones, ni siquiera por contacto, entre el gas y las demás sustancias (azúcar y agua) que componen la bebida.

Modelo “Burbujas”

Este modelo es correspondiente al nivel 2 de la rúbrica, al que hemos denominado “Burbujas” (burbujas), el gas sí aparece siempre representado, en forma de burbujas, espuma o pompas. De esta forma, se representa como si se encontrase en una mezcla heterogénea, con parte del mismo en la superficie y otra parte en el interior del líquido (Figura 10). Otra característica distintiva de este modelo es que no aparecen referencias explícitas a que el gas esté disuelto.



Explicación del dibujo: "En el dibujo he dibujado el agua con una línea azul. Mientras el azúcar lo he dibujado con puntitos que no se ven porque están disueltos. Mientras que el gas lo he dibujado con forma de burbuja, ya que el agua que está rodeando al gas (dióxido de carbono)".

Figura 10. Ejemplo de respuesta del modelo "Burbujas" (estudiante 02B)

Podemos entender que este modelo se centra fundamentalmente en los aspectos observables del sistema, lo que constituye una de las características de las concepciones de niños y adolescentes de edades semejantes a las de los participantes de este estudio (Talanquer, 2009). Ya no es un modelo totalmente macroscópico, si no, más bien, macro-micro (Blanco y Prieto, 2004) según el cual los estudiantes asumen que el azúcar está disuelto lo que representan con puntitos que no se ven. Por el contrario, para el agua y para el gas la representación sigue siendo macroscópica. El hecho de que ya se considere al gas, formado burbujas, como parte de la mezcla, aunque sea de forma heterogénea, supone un avance con respecto al anterior. No obstante, en este modelo todavía no se atisba la idea de que el gas pueda estar disuelto.

Modelo "Burbujas y algo más"

El modelo 3 supone un avance considerable respecto a los dos anteriores, puesto que el gas ya no solamente es representado como burbujas, sino que también puede aparecer como "hilos ondulados", que podrían reflejar cierto grado de difusión o dispersión del mismo en el medio líquido. Además, ahora, cuando se utilizan círculos para representar al dióxido de carbono, ya no vienen etiquetados con el término burbujas, haciendo alusión posiblemente en su lugar a niveles de representación submicroscópicos, en las que parecen anticiparse la idea de disolución, aunque no se manifieste de forma explícita (Figura 11).

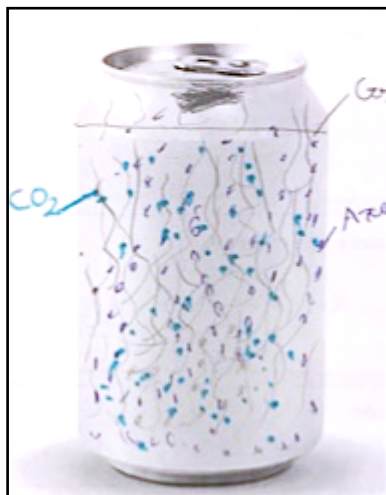


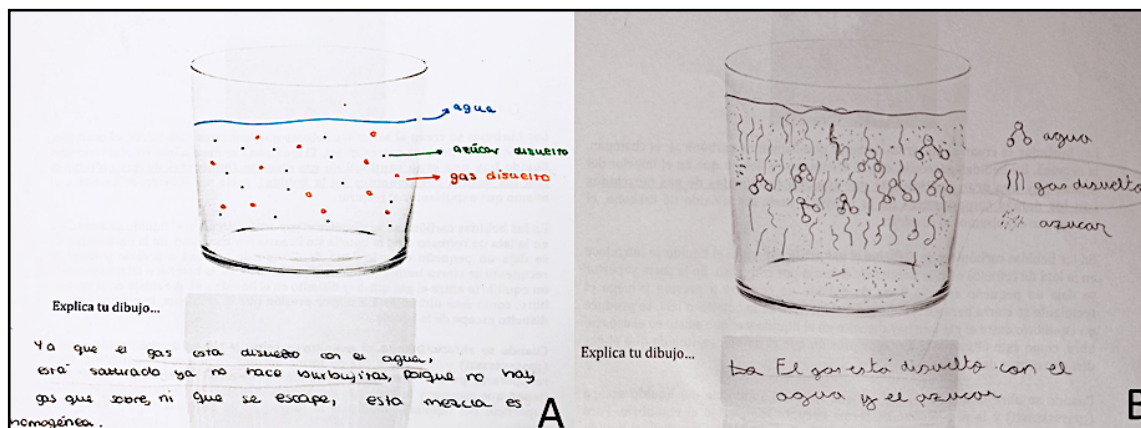
Figura 11. Ejemplo de respuesta del modelo “Burbujas y algo más” (estudiante 09B)

Este modelo puede considerarse como de transición entre los modelos espontáneos (“Gas fuera” y “Burbujas”) y aquellos otros en los que el gas está disuelto. Este tipo de modelo intermedio suele ser descrito en la literatura como un paso necesario para que los estudiantes avancen en su comprensión sobre la naturaleza de la materia (Blanco y Prieto, 1994; Nussbaum 1992). Sigue siendo un modelo macro-micro (Blanco y Prieto, 2004) ya que la representación del agua es continua (una línea horizontal que representa el nivel de líquido), lo que pone de manifiesto el arraigo de determinadas limitaciones relativas a la estructura y representación de esta sustancia (Talanquer, 2009).

La representación del gas es más compleja que en los modelos anteriores. Los hilos ondulados parecen dar ideas de movimiento del gas, comenzando los estudiantes a superar algunas limitaciones sobre los aspectos dinámicos, aunque no puede inferirse de este modelo si el movimiento es causado por un agente externo (p. ejemplo la agitación de la bebida) o si es una característica intrínseca de las partículas. Por otro lado, los círculos que representan al dióxido de carbono son muy diferentes a las burbujas, lo que da a entender que en este modelo se ha superado, para el gas, determinadas limitaciones de la estructura continua del gas, aunque no se llegue todavía a la etapa admitir la existencia de partículas y vacío (Talanquer, 2009).

Modelo “Gas disuelto”

Las respuestas incluidas en este modelo muestran que el gas ya está disuelto y así se indica explícitamente en los dibujos y en los textos que los acompañan o en ambos a la vez. Se representa homogéneamente, sin referirse a él como burbuja (Figura 12).



Textos que acompañan a los dibujos:

Dibujo A: "ya que el gas está disuelto con el agua, está saturado ya no hace burbujitas, porque no hay gas que sobre, ni que se escape, esta mezcla es homogénea".

Dibujo B: "el gas está disuelto con el agua y el azúcar".

Figura 12. Ejemplos de respuestas del modelo "Gas disuelto" (A: estudiante 18B y B: estudiante 10B)

Aunque se trata de un modelo micro (Blanco y Prieto, 2004), para el caso del azúcar y el gas, todavía quedan ideas de tipo macroscópico para el agua, que en unos casos se concibe como un medio continuo (Figura 12A), mientras en otros puede aparecer una visión dual en la que sobre un fondo continuo que representa el agua, se superponen unidades moleculares que componen la misma (Figura 12B).

Como se aprecia en las dos respuestas de la figura 12, los estudiantes indican explícitamente que el gas está disuelto y los iconos empleados para representarlo ya no significan burbujas. No obstante, aunque la idea de la disolución del gas esté asumida, la capacidad de representación de esta idea puede variar. Así, en el dibujo de la respuesta A, el gas disuelto es representado de igual forma que el azúcar disuelto, para lo cual se recurre a un modelo submicroscópico.

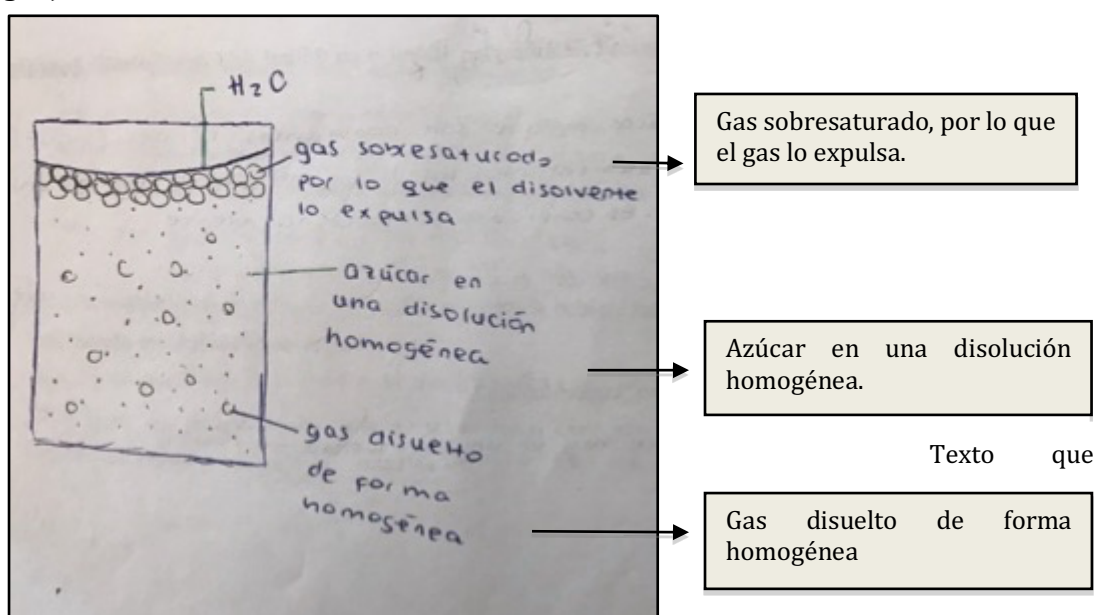
Sin embargo, en otras respuestas se muestra la dificultad de algunos estudiantes para representar al gas disuelto. Así, en la respuesta B, la forma de representarlo, muy diferente a la que se utiliza para el azúcar o para el agua, es del tipo "hilos ondulados" propio del modelo "Burbujas y algo más". En algunos casos, en este modelo puede hacerse referencia, además, a burbuja/espuma/pompa como otra parte del gas que no está disuelto sin llegar a explicar este hecho (sobresaturación). Se menciona, incluso, en algunos casos, la mayor o menor solubilidad del gas con respecto a la temperatura del líquido.

Este modelo expresa por primera vez la idea de que el gas puede estar disuelto como cualquier otro soluto en una disolución, lo que supone, por tanto, un avance claro con respecto al modelo anterior. Podría considerarse ya como un modelo

adecuado desde el punto de vista de la ciencia escolar, en el sentido de que en él se integra y se concilia la visión macroscópica de un fenómeno cotidiano (sólo lo que se observa), con una visión submicroscópica que implica concebir que existen sustancias, en este caso el gas, que está disuelto y por lo tanto presente, aunque no se vea.

Modelo "Sobresaturación"

Las respuestas incluidas en este modelo hacen referencia a que el gas está disuelto y así se expone y dibuja de forma expresa. Además, aparece de forma explícita la idea de disolución sobresaturada o de saturación, en referencia a la disolución del dióxido de carbono en la bebida (figura 13). En algunos casos, el gas disuelto se representa en términos de la estructura de su molécula, normalmente empleando lenguaje simbólico.



acompaña al dibujo: "En el disolvente (agua) se disuelve homogéneamente el soluto azúcar porque a mayor temperatura mayor solubilidad. El gas se disuelve, aunque a mayor temperatura menor solubilidad, pero al estar a temperatura ambiente se compensa y consigue disolverse y el gas que no está disuelto es por la sobresaturación ya que el disolvente no puede disolver tanto soluto."

Figura 13. Ejemplo de respuesta del modelo "Sobresaturación" (Estudiante 01B)

Este modelo puede considerarse un avance importante respecto al modelo anterior, tanto desde el punto de vista descriptivo como explicativo, ya que los estudiantes además de integrar la idea de gas disuelto con la existencia de burbujas, tal y como sucede en el modelo "Gas disuelto", son capaces de explicar este hecho, utilizando conceptos precisos del ámbito de la química, como son los de saturación y sobresaturación.

Todos estos modelos forman una secuencia de progreso en la comprensión de la disolución del gas que se manifiesta en un incremento de la complejidad de los

mismos desde la perspectiva de los niveles de representación en química (Talanquer, 2011), los modelos de los estudiantes muestran una progresión desde el razonamiento centrado únicamente en el ámbito macroscópico en el que se sitúan los modelos “Gas fuera” y “Burbujas” pasando por una mezcla de macro-submicroscópico en el caso de, “Burbujas y algo más” y llegando al modelo submicroscópico o “Gas disuelto”. Desarrollar una comprensión adecuada de los conceptos de química, requiere la habilidad para moverse entre los tres niveles de representación de forma interconectada (Gilbert and Treagust, 2009). Desde esta perspectiva, el modelo “Sobresaturación” se considera el más avanzado de los identificados en este estudio ya que implica la utilización combinada de los niveles macro y submicro, lo que permite explicar que el gas esté disuelto (algo no perceptible) con desprendimiento (apreciable) de burbujas, producto de la sobresaturación, cuando se abre una bebida carbónica (fenómeno muy familiar para los estudiantes).

P7. ¿Cómo evolucionaron estos modelos durante la secuencia didáctica centrada en las disoluciones y la modelización de las mismas? (CC7)

Los resultados asociados a esta pregunta de investigación surgen de los datos que se recabaron, al igual que la pregunta de investigación anterior-P6-, de la segunda implementación de la unidad didáctica que se ha comentado con anterioridad.

Tomando como referencia las actividades relacionadas con la modelización la recogida de datos delimitó aquellas que incluían tareas, consideradas como “hitos”, en las que los estudiantes respondían de forma individual (tabla 2). Estas tareas marcaban el comienzo y el final de cada uno de los bloques de actividades identificados. Esta organización en bloques permitía la recogida de datos y el análisis de la evolución de los modelos de cada estudiante.

En la tabla 6 se pueden observar la frecuencia de respuestas de los estudiantes con relación a los modelos identificados, en cada una de las actividades marcadas como “hitos” dentro de la secuencia didáctica (el lector puede encontrar toda la secuencia de actividades en la tabla 2).

Actividad	Frecuencia de respuestas relacionadas con cada nivel											
	Grupo A (N = 25)						Grupo B (N = 28)					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
A2	-	6	14	4	1	-	-	11	12	5	-	-
A7	1	3	21	-	-	-	1	3	20	4	-	-
A8	1	-	21	2	1	-	-	-	19	9	-	-
A9	4	-	20	1	-	-	-	-	25	2	1	-
A10	4	-	6	13	2	-	4	-	-	10	14	-
A11*							7	-	-	15	6	-
A12	1	-	12	6	6	-	1	-	6	3	13	5
A14	-	-	10	12	3	-	-	-	7	13	2	6

Nivel 1: "Gas fuera"; Nivel 2: 'Burbujas"; Nivel 3: 'Burbujas y algo más"; Nivel 4: "Gas disuelto"; Nivel 5: "Sobresaturación".

(*) Los estudiantes del grupo A no realizaron la actividad 11.

Tabla 7. Distribución de respuestas asociadas a los distintos niveles de la rúbrica, según las actividades consideradas como "hitos"

Modelos iniciales del alumnado

Los modelos iniciales (A2, tabla 7) no llegan más allá del modelo de "Burbujas y algo más", excepto en el caso de un estudiante del grupo A, que presenta el modelo "Gas disuelto". En el grupo A, el modelo mayoritario es el modelo "Burbujas", apareciendo en 14 de los 25 estudiantes, aunque aparecen también los demás modelos, excepto el "Sobresaturación". En el grupo B, las respuestas iniciales estuvieron más repartidas entre los modelos "Gas fuera" (11/28), "Burbujas" (12/28) y "Burbujas y algo más" (5/28).

Estos tres modelos son los que los estudiantes desarrollan de forma espontánea, antes de recibir la formación específica acerca de la disolución de gases en líquidos. Por ende, el hecho de encontrar una única representación que encajase con el modelo "Gas disuelto" al comienzo de la unidad didáctica, indica que la idea de que un gas (tanto como un sólido o un líquido) pueda ser disuelto en un líquido es difícil de captar por el alumnado, por lo que requiere un proceso de enseñanza que tenga en cuenta las ideas preexistentes acerca de dicho proceso (Çalik et al., 2007).

La distribución de frecuencias de los modelos encontrados parece situar al grupo A con un perfil de modelos algo más avanzados con respecto al grupo B. No obstante, el análisis estadístico (prueba de la U de Mann Whitney) mostró que las diferencias encontradas no eran significativas ($Z=-.989$; $p=.323$). Por tanto, podemos decir que ambos grupos comienzan la secuencia partiendo de un perfil similar en cuanto a sus modelos sobre la situación del dióxido de carbono en la bebida gaseosa.

Modelos a lo largo de la unidad didáctica

En las actividades finales de la unidad didáctica (actividades 12 y 14, tabla 2) las representaciones de los estudiantes cubren el repertorio completo de modelos identificados en el estudio, a excepción del modelo “Gas fuera” que es el más simple y que desapareció de “escena” inmediatamente después de que los estudiantes elaboraran en clase la bebida por primera vez (actividad 8). Los modelos “Burbujas” y “Burbujas y algo más” se muestran como modelos muy persistentes ya que siguen apareciendo al final de la unidad didáctica y en ambos grupos con una extensión significativa. Esto pone de manifiesto la gran influencia que ejercen en el razonamiento científico de los niños y adolescentes, las características más observables de los fenómenos, en este caso las burbujas (Driver et al., 1989). El modelo “Gas disuelto” es un modelo que parece estar al alcance de un buen número de alumnos, una vez que han realizado algunas actividades al respecto.

No obstante, el modelo de “Sobresaturación” parece algo alejado para las posibilidades de la mayoría de los estudiantes de este nivel, de hecho, sólo surge en seis casos (todos en el grupo B) alcanzándolo al final de la unidad didáctica (tabla 7). Esto puede ser debido a dificultades a la hora de la representación de un estado específico de la materia (Çalik et al, 2007) y, probablemente, ante la necesidad de integrar diversas ideas y consideraciones en una única representación. Así, los estudiantes deben tener en cuenta a la vez los niveles macro, micro y simbólico (Gilbert y Treagust, 2009) e incorporar a ellos diferentes aspectos del comportamiento del dióxido de carbono, tales como su solubilidad en el agua y la dependencia de la misma de la presión y la temperatura, aspectos que se muestran complejos a estas edades (Çalik et al, 2007), e incluso para más elevadas (Adadan y Svasci, 2012). De hecho, la revisión de estudios muestra que en todos los niveles los estudiantes manifiestan dificultades para entender las propiedades y el comportamiento de los gases (Yalçinkaya and Boz, 2015).

Cambios en los modelos de los estudiantes

En la tabla 8, se muestran los cambios en los modelos de los estudiantes para cada uno de los bloques de actividades seleccionados. Así, por ejemplo, las actividades A2 y A7 corresponden al bloque 1, las actividades A7 y A8 se incluyen en el tramo 2, etc. Para analizar el progreso en los modelos los estudiantes durante el desarrollo de la unidad didáctica, se comparan los niveles alcanzados en la actividad final e inicial de cada tramo, en cada uno de los grupos, cuantificando el número de estudiantes que progresaron en sus modelos hacia un nivel superior dentro de la rúbrica, el número que retrocedió y el número que no mostró cambio alguno entre el comienzo y el final de cada uno de los bloques. En esta misma tabla

se incluyen también los resultados de la prueba estadística de Wilcoxon, lo que permite inferir la posible significación estadística de los cambios observados.

Bloque	Grupo A					Grupo B				
	Retroceden	Igual	Avanzan	Z	p-value	Retroceden	Igual	Avanzan	Z	p-value
1 (A2-A7)	6	15	4	-.832	NS	7	9	12	-.991	NS
2 (A7-A8)	1	17	7	-1.588	NS	2	16	10	-2,352	*
3 (A8-A9)	5	19	1	-1.807	NS	7	19	2	-1,667	NS
4 (A9-A10)	3	8	14	-1.956	*	4	1	23	-2,703	**
5 (A10-A11)	-	-	-	-	-	11	14	3	-1.885	NS
6 (A11-A12)	-	-	-	-	-	4	5	19	-2.739	**
7 (A12-A14)	8	9	8	-.436	NS	12	8	8	-1,267	NS

NS No significativo; * $p < .05$; ** $p < .01$

Tabla 8. Análisis estadístico de la evolución de los modelos en los bloques identificados

Los resultados (tabla 8) muestran que, en algunos de dichos bloques de actividades se han producido cambios estadísticamente significativos, mientras que en otros no. Como puede verse, estos cambios significativos se producen en los modelos de los estudiantes en tres de los siete bloques identificados (números 2, 4 y 6). Aunque en el resto de los tramos los cambios no fueron estadísticamente significativos, merece la pena destacar que en los tramos 3, 5, y 7 se aprecia un mayor número de estudiantes que retroceden en sus modelos que los que avanzan, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. No obstante, este dato también es importante ya que permite identificar qué actividades ayudaron menos a los estudiantes a mejorar sus modelos.

Esto parece dar a entender que algunas de las actividades o grupos de actividades que forman parte de dichos bloques ayudan a los estudiantes a mejorar sus modelos, pero también que otras pueden no contribuir. Todas las actividades empleadas en esta investigación, aunque comparten el mismo contexto –las bebidas gaseosas– demandan la interacción de un determinado conocimiento químico sobre la disolución del gas en el líquido con una determinada tarea de modelización. Esto da lugar a un buen número de combinaciones que hacen difícil delimitar qué aspectos concretos de las mismas son los que realmente han ayudado a mejorar los modelos de los estudiantes. No obstante, del análisis realizado de cada uno de los bloques definidos en los que se han observado diferencias significativas, pueden extraerse algunas consideraciones al respecto:

- a) Las actividades experimentales incluidas en la secuencia –la preparación de la bebida inyectando gas a presión (A8) y las experiencias sobre la influencia de la presión y la temperatura en la solubilidad del gas (A10)–

han ayudado a los estudiantes de ambos grupos a mejorar sus modelos, aunque las tareas de modelización eran diferentes en cada caso (tabla 1). Esto parece estar de acuerdo con los trabajos de (Adadan y Savasci, 2012; Çalik et al, 2006 y Çalik et al., 2007) que muestran la importancia de tratar estos aspectos para mejorar la comprensión de los estudiantes sobre la naturaleza y propiedades de los gases. En este trabajo, encontramos evidencias sobre la influencia de estas actividades en el reconocimiento, por parte de los estudiantes, de que el dióxido de carbono forma parte de la bebida y de que está disuelto.

- b) Una excepción a lo anterior sucede en la segunda preparación (A9), a pesar de tratarse de una tarea muy similar a la primera. Ello puede deberse a los aspectos contextuales de la misma. Por un lado, es posible que el uso del colorante distrajese la atención de los estudiantes en la resolución de la tarea. Pero, al lado de ello, también es posible que en este caso supusiera una dificultad añadida el hecho de que los estudiantes tuvieran que evaluar algo, en este caso la plausibilidad del modelo MC2. En este sentido, es bien sabido que la evaluación, supone una de las capacidades superiores a nivel cognitivo (Anderson y Krathwohl, 2001; Krathwohl, 2002), y de hecho en estudios anteriores, la tarea de revisar modelos se ha mostrado como una de las más complejas (Oliva et al, 2015).
- c) Debido al papel destacado que tienen las burbujas en los modelos de los estudiantes y del carácter claramente disruptor que tienen a la hora comprender el proceso de disolución del gas, era necesario abordar de forma explícita su composición. Así, la lectura propuesta al respecto y la posterior elaboración de un modelo individual sobre la composición de una bebida gaseosa en la que no se aprecian burbujas (A12), ha ayudado a los estudiantes a mejorar sus modelos, afianzando la idea de disolución del gas y, en algunos casos, a conciliarla con la de sobresaturación.

Por último, llama la atención, que la presentación y uso de un modelo científico escolar no parece haber ayudado a mejorar los modelos de los estudiantes. Ello nos lleva a cuestionar si el que ha sido empleado, basado en las ideas de movimiento e interacción molecular para disoluciones de sólido y líquidos en líquidos (Blanco y Prieto, 1994), es adecuado para ser adaptado a disoluciones de gases en líquidos con estudiantes de estas edades. Al respecto Çalik et al (2007) consideran que los estudiantes de estas edades tienen dificultades para conectar sus ideas con la teoría corpuscular de la materia, especialmente con la idea de interacción entre las partículas de soluto y disolvente.

Comparación de los modelos iniciales y finales del alumnado

Una vez estudiada la evolución de los modelos de los estudiantes a través de cada uno de los tramos de actividades, es el momento de efectuar un balance global comparando los modelos iniciales (actividad 2 en el pretest) con los alcanzados al final de la unidad didáctica (actividad 14 en el postest). En general, hay que destacar que el perfil de modelos finales muestra un claro avance con respecto a los iniciales ya que más de la mitad de los estudiantes se encuentran al final en los modelos más avanzados, “Gas disuelto” y “Sobresaturación” y no aparece el modelo más elemental “Gas fuera”. Los modelos intermedios “Burbujas” y “Burbujas y algo más”, siguen apareciendo con una apreciable extensión, mostrando así bastante arraigo en los estudiantes.

Al final de la secuencia didáctica, la mayoría de los estudiantes de ambos grupos avanzan en sus modelos (15/25 en el A y 23/28 en el B), y lo más importante, los cambios observados responden a diferencias estadísticamente significativas ($Z = -2.786$, $p = .005$, para el grupo A; $Z = -4.075$, $p = .000$, para el grupo B, según la prueba de Wilcoxon). Esto revela un nivel de progresión importante en los modelos de los estudiantes, lo que puede considerarse como una evidencia de que la secuencia didáctica, en su conjunto, favorece la mejora de los modelos de los estudiantes.

Si planteamos la eficacia de la secuencia didáctica en relación con el número de estudiantes que fueron capaces de realizar representaciones que encajasen con los modelos “Gas disuelto” o “Sobresaturación”, se observan progresos en ambos grupos, pero con un alcance desigual. Así en la actividad A12 (tabla 6), en la que se alcanzan los valores más altos de frecuencias de ambos modelos, la proporción de estudiantes que los manifiestan es solo de un 24% (6/25) en el grupo A y mucho mayor, el 640% (18/28) en el grupo B. Desde esta perspectiva, la secuencia didáctica ha ayudado de forma diferente a ambos grupos a reconocer la disolución del gas. Teniendo en cuenta que ambos grupos partían de un perfil de modelos similares, estos resultados podrían ser explicados en términos de los diferentes grados de implicación en la secuencia didáctica de los estudiantes de cada grupo.

3. CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones, las cuales, al igual que en el caso de los resultados, están organizadas en torno a cada uno de los estudios y, a su vez, alrededor de las preguntas de investigación formuladas.

3.1. Conclusiones estudio 1

Los resultados indican que el tema de las bebidas gaseosas es potencialmente útil como contexto para iniciar el aprendizaje de las disoluciones en estudiantes de secundaria obligatoria, dados los hábitos de consumo observados, la conciencia de los estudiantes sobre su insalubridad y la existencia en ellos de concepciones sobre su estructura y composición, si bien no parece que existan modelos cohesionados que articulen esas ideas.

Más concretamente, apuntan a las siguientes conclusiones:

P1: ¿Cuáles son los hábitos de consumo y creencias de los estudiantes de secundaria en torno a las bebidas gaseosas? (CC2)

Los resultados obtenidos muestran que el consumo de bebidas gaseosas está normalizado, aunque la mayoría percibe las mismas como no saludables, debido al azúcar y al gas.

P2: ¿Qué características tienen y qué grado de articulación en torno a modelos poseen las ideas de los alumnos acerca la composición de una bebida gaseosa? (CC3)

Por otra parte, las ideas que manejan los estudiantes inicialmente para interpretar la estructura y composición superponían normalmente representaciones macroscópicas y submicroscópicas al mismo tiempo, con distribuciones de ingredientes que variaban de unos casos a otros. Solo una pequeña parte del alumnado concebía la disolución como algo homogéneo, y una proporción todavía menor contemplaba el movimiento como una cualidad presente dentro de la misma. En general, se aprecia un escaso nivel de correspondencia con las ideas que emanan de la teoría cinética molecular.

Las ideas identificadas en sus dibujos no lograron articular un nivel de representación global sólido, más bien parecen ideas e intuiciones separadas y ocasionales. Y los núcleos conceptuales que débilmente se articulan, no asocian la idea de movimiento con el nivel de representación molecular, ni tampoco con la

homogeneidad de la mezcla, siendo éstos, elementos esenciales para una adecuada comprensión de la visión cinético-molecular de la materia.

Se puede concluir que los estudiantes no poseen modelos globales que expliquen o predigan el proceso de disolución y elaboración de una bebida gaseosa. Ello no quiere decir que no posean ciertas concepciones al respecto fruto de sus experiencias cotidianas, pero sí que éstas no mantienen un nivel de articulación suficiente como sí ocurre con las ideas que se derivan del modelo de la ciencia escolar.

Se desprende de ello que nuestra labor como docente no debe limitarse a introducir nuevas ideas que acerquen las que tiene el alumno a otras coherentes con las que se quieren enseñar, sino que además es preciso ayudar a éste a que estructure y organice las nuevas ideas generadas para que logren articular un modelo adecuado y coherente.

3.2. Conclusiones estudio 2

Este estudio cobra sentido en el marco de la implementación de la primera versión de la unidad didáctica elaborada con estudiantes de secundaria. Ésta puede considerarse como uno de los resultados o aportaciones del estudio, elaborada desde un enfoque que combinaba estrategias de modelización y contextualización en el aula, tomando en consideración las conclusiones del estudio 1.

También puede considerarse una aportación de este estudio la rúbrica elaborada para representar las ideas de los estudiantes en torno a la composición y estructura de las bebidas gaseosas. Se trata de una rúbrica analítica con seis dimensiones, una común desglosada en tres para expresar los niveles de representación de cada uno de los componentes de la disolución –agua, azúcar y dióxido de carbono-, respectivamente, y tres más para las características de la disolución: homogeneidad/heterogeneidad, orden/desorden y agrupación/dispersión.

Los resultados obtenidos tras la implementación de la unidad didáctica nos permiten obtener las siguientes conclusiones como respuestas a las preguntas planteadas:

P3: ¿Cómo representan los y las estudiantes las sustancias y las especies químicas presentes en la disolución? (CP1)

Tras finalizar la implementación de la unidad didáctica, en su primera versión, aparecieron niveles de representación diferentes y variados en función del estudiante y del componente concreto. Las representaciones mayoritarias de los estudiantes correspondieron al nivel submicroscópico y/o simbólico, aunque compitiendo estrechamente con las representaciones macroscópicas y mixtas (macroscópicas y submicroscópicas superpuestas), especialmente en el caso del agua y del dióxido de carbono. Así, junto a niveles altos de representación submicroscópica en el caso del azúcar (sólido), aparecen niveles más discretos en las representaciones submicroscópicas del agua y del dióxido de carbono, en este último caso probablemente debido a la dificultad para conceptualizar los gases como entidades materiales.

P4: ¿Qué características de las disoluciones líquidas están presentes en los modelos de los estudiantes? (CP1)

Las ideas de homogeneidad, desorden y dispersión son características de las disoluciones líquidas que están bien recogidas en las representaciones de los estudiantes. No obstante, hay que resaltar que una parte de los estudiantes representaban la disolución como algo más que una mezcla de sustancias, reflejando la aparición de especies químicas de dos o de los tres componentes.

P5: ¿Cómo articulan distintas ideas en sus representaciones? (CP1)

Las representaciones de los estudiantes mostraron una coherencia interna solamente parcial. dado que el dióxido de carbono no quedaba completamente integrado junto a los otros componentes de la disolución.

Según lo anteriormente descrito, en el estudio 2 comprobamos, que la visión del alumnado contiene aspectos positivos, probablemente a resultas de la propuesta didáctica en la que participaron, aunque también presenta limitaciones que aconsejan cambios a introducir en el futuro. Así, por un lado, se necesitan mejoras en el desempeño del alumnado para representar a nivel submicroscópico los distintos componentes, sobre todo en el caso del disolvente (el agua), y del dióxido de carbono. Por otro, se sugiere la necesidad de intensificar las conexiones entre el nivel de representación submicroscópico de sus componentes y las propiedades de la disolución. También conviene acercar el estatus del dióxido de carbono dentro de la disolución al del resto de componentes, ya que, como se ha visto, aparece desconectado de ellos. Para ello, es necesario ayudar al alumnado a diferenciar e integrar las representaciones del gas disuelto respecto al que no lo está (las burbujas).

Por último, hay que resaltar que este estudio no perseguía realizar un seguimiento de progresión del aprendizaje del alumnado. Se trataba solamente, en su lugar, de caracterizar las representaciones que utiliza el alumnado con la finalidad de detectar dificultades y obstáculos que ayuden a mejorar la secuencia didáctica. Por ello, el diseño empleado sólo ha recurrido a una evaluación final.

Otro aspecto por destacar es que la rúbrica analítica empleada, ha resultado útil para analizar distintas facetas de la comprensión de los estudiantes, pero no para interpretar el modelo global bajo el que subyacen sus respuestas. Para ello, será preciso emplear una rúbrica sintética en la que las distintas dimensiones del modelo queden integradas. Sin duda los resultados del presente estudio serán muy útiles para ello.

3.3 Conclusiones estudio 3

Las conclusiones anteriores nos alentaron a realizar modificaciones sobre la unidad didáctica, lo que nos permitió llevar a cabo una segunda implementación. Para el análisis de los datos se recurrió esta vez a una rúbrica sintética que nos ayudó a indagar directamente sobre los modelos empleados por los estudiantes a lo largo del proceso. Tanto esta otra versión de la unidad didáctica como la nueva rúbrica de evaluación utilizada pueden considerarse asimismo aportaciones del estudio, a las que hemos de añadir aquellas otras que emergieron en respuesta a las preguntas de investigación de este estudio, y que pasamos a mostrar a continuación:

P6: ¿Qué clase de modelos usan los estudiantes para representar el dióxido de carbono en una bebida gaseosa? (CC7)

Nuestros resultados sugieren que los estudiantes de entre 13 y 14 años muestran un número limitado de modelos acerca de cómo se distribuye el dióxido de carbono en una bebida carbónica. Algunos de ellos son modelos preconcebidos, fruto de sus experiencias personales, mientras que otros surgen como resultado de la enseñanza y del propio transcurso de la unidad didáctica implementada y que es parte de esta tesis doctoral. En concreto identificamos una secuencia de progresión formada por cinco modelos que denominamos: *Gas fuera, Burbujas, Burbujas y algo más, Gas disuelto y Sobresaturación*.

Esta serie de modelos suponen una contribución novedosa a la literatura relacionada con las concepciones de los estudiantes acerca de las disoluciones (Çalik et al., 2005) por al menos dos razones. La primera es que las ideas de los estudiantes, relacionadas con la disolución de gases en líquidos, han sido menos

estudiadas, particularmente desde la perspectiva de los modelos y la modelización. La segunda razón estriba en que los modelos que se describen en este trabajo se relacionan con un contexto cotidiano más complejo que las situaciones habitualmente utilizadas en la ciencia escolar como, por ejemplo, la disolución de oxígeno en agua, donde el fenómeno de la sobresaturación no se aborda.

P7: ¿Cómo evolucionan estos modelos durante una unidad didáctica centrada en las disoluciones y la modelización de las mismas? (CC7)

Los resultados obtenidos muestran que los estudiantes de ambos grupos comienzan la secuencia partiendo de un perfil similar en cuanto a sus modelos sobre la situación del dióxido de carbono en la bebida gaseosa y que han progresado significativamente al final de la misma. El perfil de modelos finales muestra un claro avance con respecto a los iniciales ya que más de la mitad de los estudiantes se encuentra al final en los modelos más avanzados –“Gas disuelto” y “Sobresaturación”– y no aparece el modelo más elemental “Gas fuera”. Los modelos intermedios “Burbujas” y “Burbujas y algo más” siguen apareciendo con una apreciable extensión, mostrando así bastante arraigo en los estudiantes.

En consecuencia, podemos afirmar que la unidad didáctica diseñada ha contribuido a que los estudiantes de 2º ESO participantes en el estudio mejoren su comprensión de las disoluciones de gases en líquido. Y en este sentido, puede decirse que el contexto de las bebidas gaseosas ha ayudado a la implicación de los estudiantes en la modelización del fenómeno. Este resultado puede considerarse como una de las principales aportaciones de la investigación desarrollada a lo largo de la tesis.

3.4. Implicaciones para la enseñanza y la investigación

Los resultados obtenidos en los estudios 2 y 3, particularmente en el este último, muestran resultados muy prometedores para ayudar a los estudiantes a mejorar sus modelos, habiéndose identificado algunas actividades concretas que ayudan en este sentido. Así, las relacionadas con la modelización como las de generar, consensuar y utilizar modelos, combinadas con la preparación de una bebida gaseosa en el aula, y las relativas a la interpretación de algunos fenómenos relacionados con la influencia de la presión y la temperatura, se han mostrado como actividades relevantes para ayudar a los estudiantes a mejorar sus modelos.

No obstante, el progreso conseguido no puede considerarse totalmente satisfactorio, sobre todo en uno de los dos grupos participantes. El hecho de que algunos estudiantes hayan llegado a utilizar en sus modelos, la idea de gas disuelto

es indicativa de que se puede conseguir en estas edades. Pero para que esto se produzca en una extensión mayor, es necesario mejorar el diseño y los apoyos didácticos que se les proporcionan. En concreto, es necesario incluir actividades que ayuden a los estudiantes a reconocer la presencia del gas disuelto en la bebida, en las que puedan visualizar cómo se forman las burbujas en el interior de la bebida y cómo desaparecen en su seno como fruto de los cambios de temperatura o presión. Esto puede hacerse mediante la experiencia directa (Çalik, Ayas y Coll, 2006) o mediante un laboratorio virtual (Karlsson, Ivarsson y Lindström, 2013).

Por otro lado, llama la atención, que la presentación y uso de un modelo científico escolar no parece haber ayudado a mejorar los modelos de los estudiantes. Ello nos lleva a cuestionar si el aquí empleado, basado en las ideas de movimiento e interacción molecular para disoluciones de sólido y líquidos en líquidos (Blanco y Prieto, 1994), es adecuado para ser adaptado a disoluciones de gases en líquidos con estudiantes de estas edades. De ahí que resulte tentador el desarrollo de nuevos esfuerzos de transposición didáctica que permitan encontrar formas alternativas más apropiadas para adaptar el modelo científico-escolar de disolución de gases en líquidos a estudiantes que inician en el estudio de la química. Ello, tal vez, les que ayude a dar sentido a sus experiencias cotidianas y a generalizar las ideas que desarrollan al interpretar las mismas, más allá del contexto utilizado.

No obstante, todo lo anterior, se considera que los resultados y conclusiones obtenidas en este estudio deben ser adoptados con cautela, teniendo en cuenta que la implementación de la unidad didáctica ha sido en una escala pequeña, solo con dos grupos de estudiantes solamente e impartida por un único profesor-investigador. Es por ello, que las conclusiones obtenidas no se puedan generalizar. Por ejemplo, la evolución de los modelos que manifiestan los estudiantes en el presente estudio podría ser diferente en función de los modelos iniciales de los estudiantes o de la interacción entre éstos y las actividades que integran la unidad didáctica. Además, podrían influir otros factores, como, el tipo de centro escolar de los participantes, sus actitudes e intereses, o la variable profesor, etc.

En el futuro, sería importante investigar si el perfil de modelos que se han identificado sigue apareciendo en estudiantes de cursos superiores y en qué medida se encuentran arraigados en ellos. Y, por otro lado, convendría realizar cambios y mejoras en la unidad didáctica a la luz de los resultados obtenidos e implementarla con una muestra más amplia de estudiantes, que incluya centros y contextos educativos diferentes, con objeto de analizar si ayuda a los estudiantes a mejorar sus modelos sobre la disolución de los gases en los líquidos.

4. BIBLIOGRAFÍA

Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 36, 63-75.

American Chemical Society (1993). *QuimCom. Química en la comunidad*, 2ª ed., México: Addison Wesley Longman de México. Primera edición: ACS [1988], *ChemCom: Chemistry in the community*, Dubuque, IA: Kendall-Hunt. (2016) 6ª ed.

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.

Anderson, B. (1986). The experimental gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8 (2), pp. 155-171. Barab, S. A., Squire, K. (Eds.). (2004). Design-based research. [Special Issue] *Journal of the Learning Sciences*, 13(1).

Andrée, M. (2005). Ways of using 'everyday life' in the science classroom. In: K. Boersma, M. Goedhart, O. de Jong and H. Eijkelhof (eds.), *Research and the quality of science education*. Springer.

Barberá, O. y Valdes, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: Una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 365-379.

Blanco, A. (1995). Estudio de las concepciones de los alumnos sobre algunos aspectos de las disoluciones y de los factores que influyen en ellas. Tesis doctoral. Universidad de Málaga.

Blanco, A. (2000). Implicaciones didácticas de los estudios sobre las concepciones de los alumnos: Las disoluciones. En M. Limón, M. A. Lires, F. F. Rojero, A. Blanco y A. Llitjós. *Aspectos didácticos de Física y Química (Química)* 9, (101-143). Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Zaragoza.

Blanco, A. y Garrido, L. (2011). Actividades prácticas en el contexto de las bebidas y competencia científica. *Educació Química*, 9, 13-19.

Blanco, A. y Prieto, T. (1994). Las disoluciones. Dificultades de aprendizaje y sugerencias para su enseñanza. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 1, 125-131.

Blanco, A. y Prieto, T. (1997). Pupils' view on how stirring and temperature affect the dissolution of a solid in a liquid: A cross-age study. *International Journal of Science Education*, 19(3), 303-315.

Blanco, A. y Prieto, T. (2004). Un Esquema para investigar el progreso en la comprensión de los alumnos sobre la naturaleza de la materia. *Revista de Educación*, 335, 445-465.

Blanco, A., España E. y Rodríguez F. (2012). Contexto y enseñanza de la competencia científica. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 9-18.

Blanco, A., Ruiz, L. y Prieto, T. (2010). El Desarrollo histórico del conocimiento sobre las disoluciones y su relación con la teoría cinético-molecular. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 447-458.

Caamaño, A. (2011). Contextualización, indagación y modelización. Tres enfoques para el aprendizaje de la competencia científica en las clases de química. *Aula de Innovación Educativa*, 207, 17-21.

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.

Çalik M., Ayas, A. y Coll, R. K. (2006). A constructivist-based model for the teaching of dissolution of gas in a liquid. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 7(1), article 4.

Çalik M., Ayas, A., Coll, R.K., Unal, S. y Costu, B. (2007). Investigating the effectiveness of a constructivist-based teaching model on student understanding of the dissolution of gases in liquids. *Journal of Science Education and Technology*, 16(3), 257-270.

Cañero-Arias, J. Blanco-López, A. y Oliva, J.M^a. (2017). "Do students have mental model about the composition of a carbonated drink?" comunicación presentada en la 12th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), Dublín (Irlanda), 21-25 de agosto de 2017.

Cañero, J., Blanco, A. y Oliva, J.M^a. (2015). Las bebidas gaseosas como contexto para el aprendizaje de las disoluciones mediante modelización. En Membiela, P. Casado, N. y Cebreiros, M.I. (Eds.), *La enseñanza de las ciencias: desafíos y perspectivas*. (277-281). Educación Editora.

Cañero-Arias, J., Blanco-López, A., Oliva, J.M^a. y Cruz-Lorite, I.M. (2019). Students' representations about the internal structure of a carbonated drink: A preliminary study. Paper presented at the international congress of the European Science Education Research Association (ESERA), Bologna (Italy), 26-30 August 2019.

Chamizo, J. y Izquierdo, M. (2005). Ciencia en contexto: una reflexión desde la filosofía [Science in context: A philosophical reflection]. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 46, 9-17.

Clement, J. J. (2000). Model-based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.

Cohen, L., Manion, L., y Morrison, K. (2007). *Research Methods in Education* (6th ed.). Routledge Falmer.

De Jong, O. (2008). Context-based chemical education: How to improve it? *Chemical Education International*, 8, 1-7.

Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1989). *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. MEC/Morata

Driver, R., Leach, J., Scott, P. y Wood-Robinson, C. (1994). Young People's Understanding of Science Concepts: Implications of Cross-age Studies for Curriculum Planning, *Studies in Science Education*, 24, 75-100.

Escaño, J y Gil de la Serna, M. (2001). Motivar a los alumnos y enseñarles a motivarse. Aula de Innovación Educativa. *Revista Aula de Innovación Educativa*, 101, 6-12.

Escobero, J.M., Castro, A. y Cruz, C. (2014). Fabricamos gaseosa en clase. *Cuadernos de Pedagogía*, 442, 30-32.

España, E., Blanco, A. y Rueda, J.A. (2012). Identificación de problemas de la vida diaria como contextos para el desarrollo de la competencia científica. En Membiela, P.; Casado, N. y Cebreiros, M.I. (Eds.) *Experiencias de investigación e innovación en enseñanza de las ciencias* (169-173). Educación Editora.

Fernández, J., Trigueros, T. y Gordo, L. (1988). Ideas sobre los cambios de estado de agregación y las disoluciones en alumnos del 2º curso de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), 42-46.

Furió, C., Hernández, J., y Harris, H. (1987). Parallels between adolescents' conceptions of gases and the history of chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64(7), 616-618.

Furió, C. y Domínguez, M. C. (2007). Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), 241-258.

Gilbert, J.K. (2006). On the Nature of "Context" in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.

Gilbert, J.K., Boulter, C. y Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.

Gilbert, J. K. y Treagust, D. F. (2009). Macro, submicro and symbolic representations and the relationships between them: Key models in chemical education. In: J. K. Gilbert and D. F. Treagust (eds.), *Multiple representations in chemical education*, (1-8). Springer.

Gilbert, J. K., Boulter, C. J. y Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In: J. K. Gilbert, and C. J. Boulter (eds.). *Developing models in science education*, (3-17). Kluwer.

Gilbert, J. K., Bulte, A. M. W. y Pilot, A. (2011). Concept development and transfer in context-based science education. *International Journal of Science Education*, 33(6), 817-837.

Girón Gambero, J.R. (2017) Estudios sobre el tratamiento de la publicidad de productos alimentarios en la Enseñanza de las Ciencias. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.

Gobert, J. D. y Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.

Gómez-Crespo, M.A. (2008). Aprendizaje e instrucción en química. El cambio de las representaciones de los estudiantes sobre la materia. Tesis Doctoral. Centro de Investigación y Documentación Educativa (CIDE) del Ministerio de Educación, Política Social y Deporte.

Goodwin, A. (2001). Are Fizzing Drinks Boiling? A Chemical Insight from Chemistry Education. *Research Journal of Chemical Education*, 78(3), 385-387.

Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science conceptions of middle and high-school teachers and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-882.

Halloun, I. (1996). Schematica modelling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041.

Halloun, I. (2007). Mediated modelling in science education. *Science & Education*, 16(7-8), 653-697.

Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (2000a). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.

Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (2000b). Learning about atoms. Molecules and chemical bonds: A case study of multiple model use in grade 11 chemistry. *Science & Education*, 84(3), 352-381.

Hoffman, R. (1995). *The same and not the same*. Columbia University Press.

Ingham, A. M. y Gilbert, J. K. (1991). The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education*, 13(2), 193-20.

Jefatura del Estado (2013). Ley Orgánica para la mejora de la calidad educativa (LOMCE), BOE núm. 295, de 10 de diciembre.

Jiménez, M.R., Sánchez, M.A., de Manuel E. (2002). Química cotidiana para la alfabetización científica: ¿realidad o utopía? *Educación Química*, 13(4), 259-266.

Johnstone, A. H. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64, 295-305.

Justi, R. y Gilbert, J.K. (2002). Modelling teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.

Justi, R. y Gilbert, J. K. (2003). Models and modelling in chemical education. In J. K. Gilbert, O. D. Jong, R. Justi, D. F. Treagust and J. H. van Driel (eds.). *Chemical education: Towards research-based practice*, (47-68). Kluwer.

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.

Juuti, K. y Lavonen, J. (2006). Design-Based Research in Science Education: One step Towards Methodology. *NorDiNa*, 2(2), 54-68.

Karlsson, G., Ivarsson, J. y Lindström, B. (2013). Agreed discoveries: Students' negotiations in a virtual laboratory experiment. *Instructional Science*, 41(3), 455-480.

Kelly, G. J. (2008). What counts as knowledge in educational settings: Disciplinary knowledge, assessment, and curriculum. *Review of Research in Education*, 32(1), 7-10.

Kind, V. (2004). *Más allá de las apariencias. Las ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*, Santillana-Facultad de Química de la UNAM.

King, D. y Ritchie, S. (2012). Learning science through real world contexts. En: Fraser, B.; Tobin, K. y McRobbie, C. (eds.) *Second International Handbook of Science Education*, (69-77). Springer.

Krnel, D., Watson, R. y Glazar, S.A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of "matter". *International Journal of Science Education*, 20(3), 257-289.

Laing, M. (1999). The four-fold way. *Education in Chemistry*, 36(1), 11-13.

Lijnse, P. y Klaassen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences?. *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554.

MAPA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, (2020). *Datos consumo alimentario en hogares en España 2020*. <https://www.mapa.gob.es/es/>

MECD, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Boletín oficial del estado, número 3 del 3 de enero.

Meroni, G., Copello, M. I. y Paredes, J. (2015). Enseñar química en contexto. Una dimensión de la innovación didáctica en educación secundaria. *Educación Química*, 26(4), 275-280.

Moreno Fontiveros, G. (2017). La compra de un coche como contexto para el desarrollo de competencias científicas. Un estudio en Tecnologías de 3º curso de Educación Secundaria Obligatoria. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.

Moraga, S., Espinet, M. y Merino, C. (2019). El contexto en la enseñanza de la química: análisis de secuencias de enseñanza y aprendizaje diseñadas por profesores de ciencias en formación inicial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1604.

Novick, S. y Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.

National Research Council (2012). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. The National Academies Press.

Nussbaum, J. (1989). Classroom conceptual change: Philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11(5), 530-540

Nussbaum, J. (1992). La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa. en: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, R. Driver, E. Guesne and A. Tiberghien (eds.). Editorial Morata.

Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 37(2), 5-24.

Oliva, J. M. (2021). Líneas y resultados de investigación en torno a la dimensión instrumental de la modelización en la enseñanza de las ciencias. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(2), 01-16.

Oliva, J. M. y Aragón, M. M. (2009). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(9), 195-208.

Oliva, J. M., Aragón, M. M. y Cuesta, J. (2015). The competence of modelling in learning chemical change: A study with secondary school students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(4), 751-791.

Oliva J., Aragón, M. M., Jimenez-Tenorio, N. y Aragón, L. (2019). La modelización como enfoque didáctico y de investigación en torno a la educación científica. *International Journal for 21st Century Education*, 5(1), 3-18.

Oversby, J. (1999). *Assessment of modelling capability*. Second International Conference of the European Science Education Research Association. Kiel, Germany.

Perrenoud, P. (2012). *Cuando la escuela pretende preparar para la vida ¿Desarrollar competencias o enseñar otros saberes?* Graó.

Prieto, T., Blanco, A. y Rodríguez, 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.

Prins, G.T., Bulte, A.M.W., Van Driel, J. H., y Pilot, A. (2008). Selection of authentic modeling practices as contexts for chemistry education. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1867-1890.

Ramos, M. P. (2010). *Estilos de vida y salud en la adolescencia*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.

Rodríguez Mora, 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. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.

Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: Socio - scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42.

Sanmartí, N. (1989) Dificultats en la comprensió de la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost, Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.

Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Editorial Síntesis.

Sanmartí, N., Burgos, B. y Nuño, T. (2011). ¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 67, 62-69.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal Research Science Teaching*, 46(6), 632-654.

Schwarz, C. (2002). Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. *Proceedings of International Conference of Learning Sciences*. Seattle, WA.

Sevian, H. y Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 10-23.

Stavy, R. (1990). Children's conceptions of changes in the states of matter: From liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 247-266.

Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.

Treagust, D.F., Chittleborough, G. y Mamiala, T.L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.

Trinidad-Velasco, R. y Garritz, R.A. (2003). Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia, *Educación Química*, 14(2), 72-85.

Tsaparlis, G. (2008). Using PARSEL modules to contextualize the states-of-matter approach (SOMA) to introductory chemistry. *Science Education International*, 19(3), 323-330.

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.

Yalçinkaya, E. y Boz, Y. (2015). The effect of case-based instruction on 10th grade students' understanding of gas concepts. *Chemical Education, Research and Practice*, 16(1), 104-120.

Yin, R. K. (1994). *Case Study Research: Design and Methods*. Sage Publications.

5. ANEXO I

Cuestionario IP 2ºESO
ENERO 2019
Código alumno/a:



Grupo de Investigación en Enseñanza de las
Ciencias y Competencias
HUM-974 Universidad de Málaga
www.encic.uma.es

Research group on Science Education and competences

CPAIM

EDU2017-82197-P

6. **A)** Explica detenidamente qué son las bebidas gaseosas y cómo se elaboran tomando como componentes principales el agua, el azúcar y el gas (dióxido de carbono).

B) El agua, el azúcar y el gas (dióxido de carbono), son sustancias que se encuentran en estado líquido, sólido y gaseoso, respectivamente. ¿Cómo explicas que estas tres sustancias formen parte de una bebida gaseosa? Acompaña tú explicación con un dibujo que lo represente, indicando qué significado tiene todo lo que dibujes.



Tarea 6 del pretest modificada (ver epígrafe 2.4).

6.CONTRIBUCIONES PRINCIPALES

CONTRIBUCIÓN CP1 (Artículo)

Título: Representando las disoluciones en el contexto
de las bebidas gaseosas

Revista: *Educación Química*

CONTRIBUCIÓN CP1 (Artículo)

Título: Representando las disoluciones en el contexto de las bebidas gaseosas

Autores: Joaquín Cañero Arias, Ángel Blanco López y José María Oliva Martínez

Tipo de publicación: artículo

Revista: *Educación Química*

ISSN: 0187-893X

ISSNe: 1870-8404

DOI: 10.22201/fq.18708404e.2022.1.79316

Año: 2022

Publicada por: Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Indicadores de calidad científica de la revista: registrada e indexada en el Chemical Abstracts (Euquim), SJR (Scopus) (cuartil 4, factor de impacto 2020 0.2) y en Latindex (30/33 características cumplidas)

Resumen: Las disoluciones constituyen un núcleo conceptual importante para el aprendizaje de la química. Además, su estudio contextualizado desde la realidad próxima al alumnado, y a través de prácticas de modelización, puede ayudarlos a mejorar el interés por la química. Es por ello que, hemos elegido las bebidas gaseosas como contexto para estudiar las disoluciones en el aula, dentro del marco de una investigación que ensaya, implementa y evalúa una unidad didáctica (UD) que combina estrategias de contextualización y modelización. En concreto, en este artículo se pretende caracterizar las representaciones finales que utilizan estudiantes de 15 años, con objeto de detectar dificultades y obstáculos a tener en cuenta para mejorar dicha unidad. Los resultados obtenidos muestran la necesidad de mejorar el desempeño del alumnado para representar, a nivel submicroscópico, los ingredientes constituyentes, particularmente del agua y del dióxido de carbono en la disolución, e intensificar las conexiones existentes entre las representaciones a este nivel y las propiedades de la disolución. Los resultados también proporcionan un indicador del potencial y de las limitaciones de la UD empleada para favorecer la construcción en los estudiantes de un modelo de la disolución acorde con el de la ciencia escolar.

CONTRIBUCIÓN CP2 (Artículo)

Título: “¡Los gases sí se disuelven!” Modelizando en el contexto
de las bebidas gaseosas

Revista: *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*

CONTRIBUCIÓN CP2 (Artículo)

Título: “¡Los gases sí se disuelven!” Modelizando en el contexto de las bebidas gaseosas

Autores: Joaquín Cañero Arias, Ángel Blanco López y José María Oliva Martínez

Tipo de publicación: artículo

Revista: *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*

ISSN: 1133-9837

ISSNe: 2014-4733

Año: 2020

Publicada por: Editorial Graó

Indicadores de calidad científica de la revista: Indexada en Carhus+, Cindoc (isoc), Dialnet, DICE, ERHI, In-Recs, Latindex (32/33 características cumplidas), Redined y Resh

Resumen: se presentan las actividades de modelización realizadas con estudiantes de 2º de Educación Secundaria Obligatoria, en la secuencia “Deconstruyendo las bebidas gaseosas” que integra los enfoques de contextualización y modelización. La secuencia de actividades ha ayudado a los estudiantes a interiorizar la idea de que los gases se disuelven en los líquidos y a mejorar sus modelos sobre el estado y el comportamiento del gas en las bebidas gaseosas.

CONTRIBUCIÓN CP3 (Capítulo de libro)

Título: Diseño de una secuencia de actividades para el aprendizaje de las disoluciones mediante modelización en el contexto de las bebidas gaseosas.

Tipo de publicación: capítulo de libro

CONTRIBUCIÓN CP3 (Capítulo de libro)

Título: Diseño de una secuencia de actividades para el aprendizaje de las disoluciones mediante modelización en el contexto de las bebidas gaseosas

Autores: Joaquín Cañero Arias, Ángel Blanco López y José María Oliva Martínez

Tipo de publicación: capítulo de libro

ISBN: 978-84-18058-95-0

Publicado por: Editorial GRAÓ

Lugar de publicación: Barcelona

Año: 2021

Indicadores de calidad científica de la publicación: indexada en base de datos SPI (Scholarly Publishers Indicators in Humanities and Social Sciences), categoría Educación, editoriales españolas, ICEE 137, posición 2/53, cuartil 1, 2018

Resumen: el desarrollo de prácticas científicas se considera hoy en día una de las grandes finalidades de la educación científica. Dentro de aquellas, los modelos y la modelización pueden ser un núcleo esencial en torno al que vertebrar el aprendizaje de la ciencia escolar. Esta importancia queda reconocida al asumir que el alumnado debe aprender modelos, saber cómo aplicarlos, reconstruirlos y evaluarlos. Por otro lado, también existen acuerdos para relacionar la ciencia con la vida diaria del alumnado, en este sentido se considera importante la contextualización de la enseñanza de las ciencias.

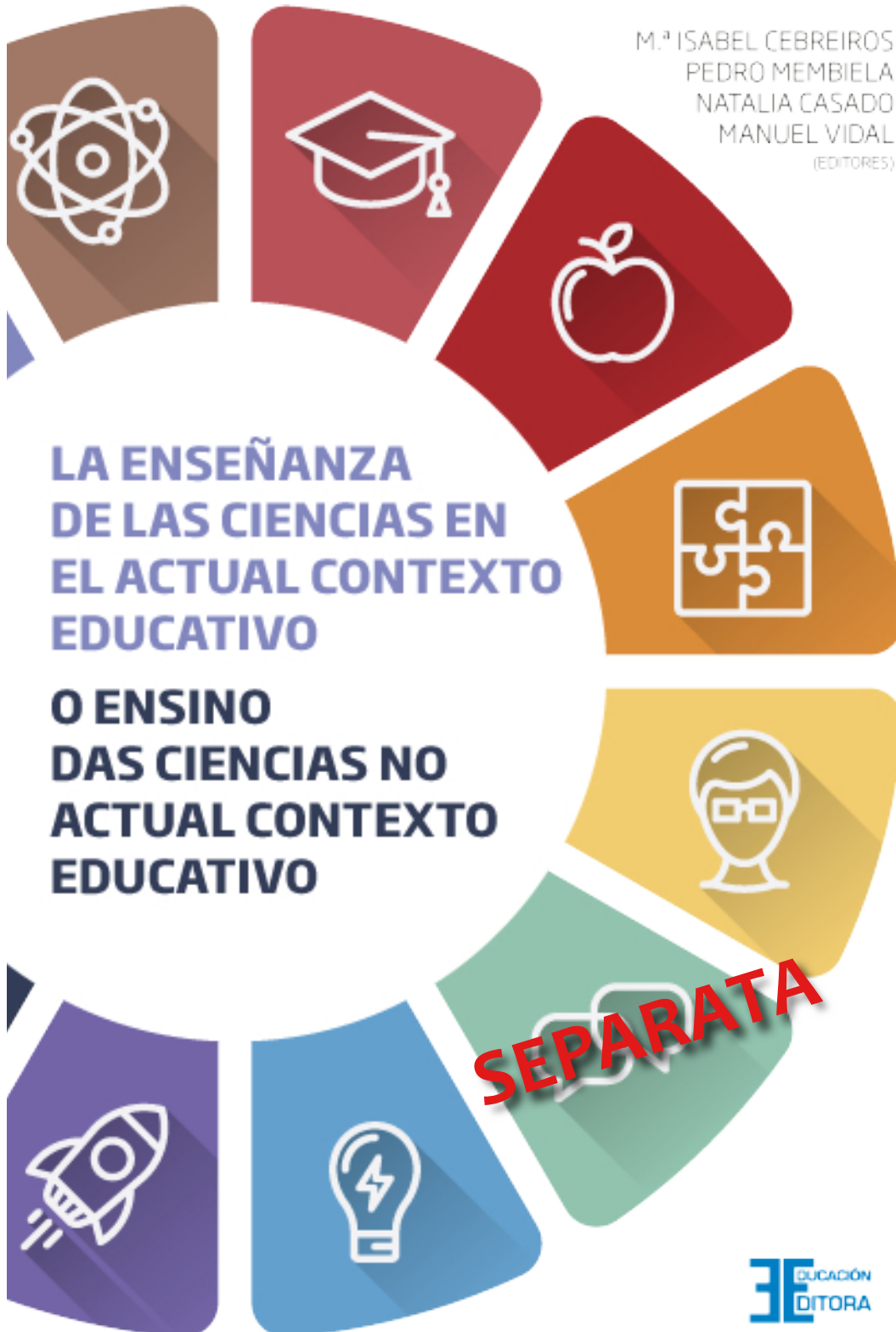
Con objeto de integrar ambos planteamientos didácticos se ha diseñado, implementado y evaluado una unidad didáctica titulada "Deconstruyendo las bebidas gaseosas" para alumnos entre 13-15 años y cuya finalidad es la ayudar al alumnado a entender los procesos de disolución, especialmente de gases en líquidos, a través de prácticas de modelización y la preparación in situ de una bebida gaseosa. En este capítulo se describen las características más destacadas de dicha secuencia, las actividades que la conforman y finalmente se discuten algunos de los resultados obtenidos y se realizan propuestas de mejoras que pueden orientar a otros docentes para implementaciones posteriores.

7.CONTRIBUCIONES COMPLEMENTARIAS

7.1 Contribución complementaria 1: *Las bebidas gaseosas como contexto para el aprendizaje de las disoluciones mediante modelización*



7.2 Contribución complementaria 2: *Estudio sobre las ideas y creencias de alumnado de secundaria sobre las bebidas gaseosas, como punto de partida del abordaje de las disoluciones de gas en líquido.*



7.3 Contribución complementaria 3: *Do students have mental models about the composition of a carbonated drink?*



“DO STUDENTS HAVE MENTAL MODELS ABOUT THE COMPOSITION OF A CARBONATED DRINK?”

Joaquín Cañero Arias¹, José María Oliva Martínez² and Angel Blanco López³

^{1,3}University of Málaga, Málaga, Spain

²University of Cádiz, Cádiz, Spain

Abstract: Solutions are a core concept for an understanding of chemistry, and exploring them in daily-life contexts can help to foster students' interest in and learning of science. This is also a topic that can be approached through modelling. In the framework of a doctoral thesis on the design and assessment of a teaching unit based on the contextualised modelling of solutions, this study examines the extent to which students have mental models about the composition of carbonated drinks. This issue was explored through a task in which students had to depict in a series of drawings a volume of water to which sugar and gas were then consecutively added, such that their final drawing represented a bottled carbonated drink. They also had to justify the content of each of their drawings. Analysis of the ideas represented in the drawings of over 100 secondary education students aged 13-16years suggested that they had yet to achieve an integrated overview of the processes involved; rather, their ideas and intuitions seemed disjointed and somewhat random. The students do not, therefore, have global models for explaining or predicting the process of producing a carbonated drink. This supports the need for a teaching unit that incorporates a modelling approach, one that can help students to develop models about the process of dissolution in relation to everyday products such as carbonated drinks.

Keywords: modelling, context, solutions

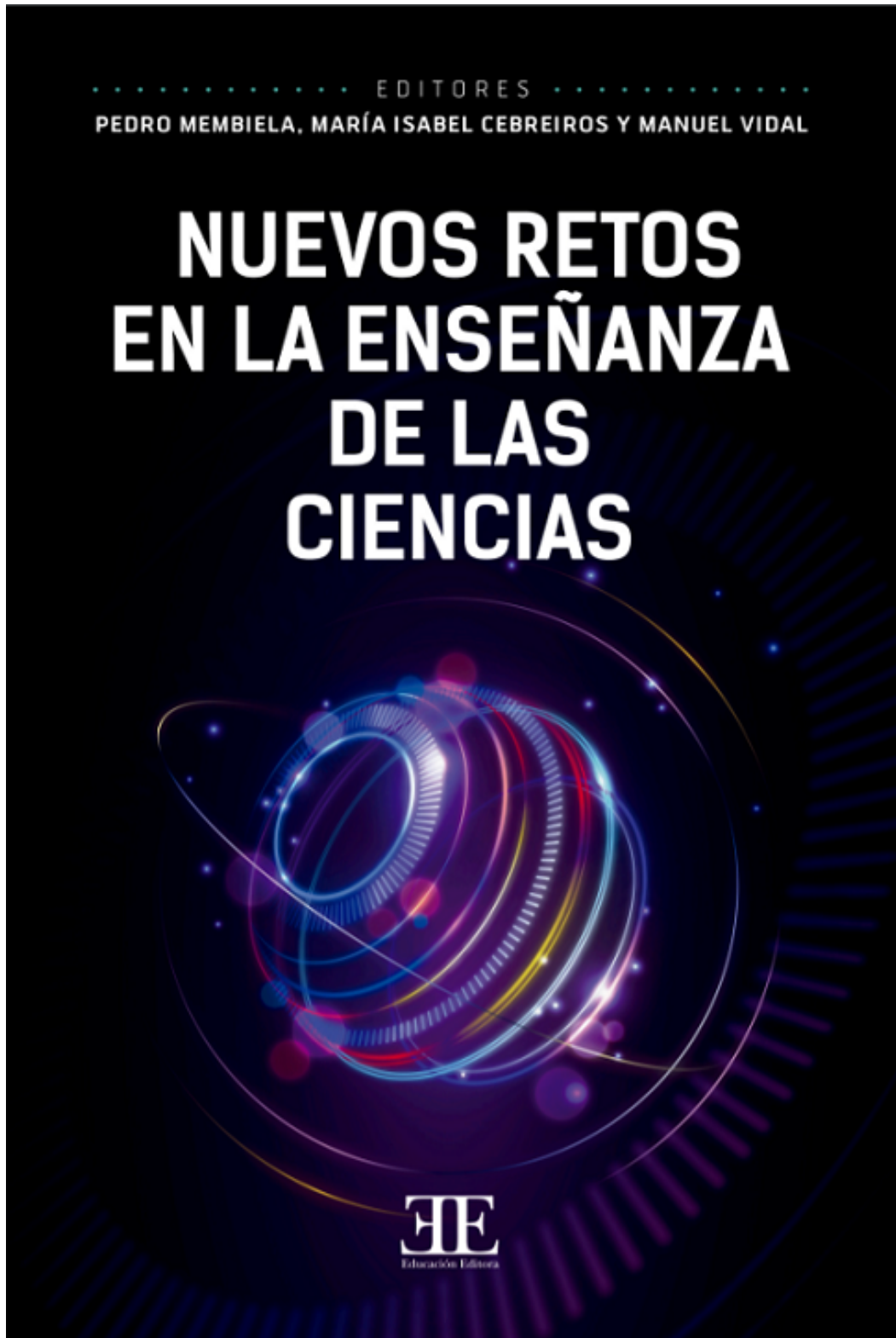
INTRODUCTION

Solutions are a core concept for an understanding of chemistry (Çalýk et al., 2005), and exploring them in daily-life contexts can help to foster students' interest in and learning of science. However, if students are to become competent at managing and understanding daily-life situations they need to develop not only models about the content of a given context but also epistemic skills and values that enable these models to be applied (Ácher, 2014; Authors, 2015a). Put simply, they need to learn to think in terms of models (Authors, 2009). This paper presents the results of a study that forms part of a doctoral thesis on the design and assessment of a teaching unit based on the contextualised modelling of solutions, in this case, focusing on carbonated drinks (Authors, 2015b). The specific aim of the study was to determine whether students' mental models about the composition of a carbonated drink are integrated or, rather, based on more disjointed notions of this phenomenon.

METHOD

In order to explore students' mental models regarding the structure and composition of carbonated drinks we first considered that the latter have three main ingredients: water, sugar and gas. We then designed a task in which students had to depict in a series of drawings a volume of water to which sugar and gas were then consecutively added, such that their final drawing represented a bottled carbonated drink. They also had to justify the content of each of their drawings. This task had two distinct parts. The purpose of the first (A) was to explore the extent to which students were able to apply their knowledge or ideas about the nature of matter in order to represent a process of dissolution involving three substances in different states of

7.4 Contribución complementaria 4: *"Deconstruyendo las bebidas gaseosas" una propuesta didáctica para el aprendizaje de las disoluciones mediante contextualización y modelización.*



7.5 Contribución complementaria 5: Representations of the students about the internal structure of a carbonated drink. Preliminary study.



REPRESENTATIONS OF STUDENTS ABOUT THE INTERNAL STRUCTURE OF A CARBONATED DRINK. PRELIMINARY STUDY.

Abstract: chemical solutions constitute a very important conceptual nucleus for the learning of chemistry, they can help to improve student interest in science if the teaching is oriented from the students' context. The introduction of modelling practices in the teaching of chemistry, particularly in the field of chemical solutions, also contributes to the acquisition of scientific knowledge. In the context of a research focused on the design and implementation of a teaching unit combining the contextualization and modelling of dissolutions in the context of carbonated drinks, a preliminary study of the results obtained is presented. The analysis shown aims to validate a rubric expressly created for the evaluation of the representations of the interior of a carbonated drink by 15-year-old students, with the target of identifying dissolution models. Furthermore, it aims to provide information on the first implementation of the teaching unit, in order to gather proposals for its improvement with a view to a second implementation. The results show that the rubric elaborated to evaluate the representations of the students is relevant and consistent adequately adjusting to the collected data. There is a need to improve student performance in order to represent the constituent ingredients at a submicroscopic level and to intensify the existing connections among the representations at this level and the dissolution properties.

Keywords: modelling-based learning, context-based learning, evaluation.

INTRODUCTION

As it is known, chemical solutions are essential for learning chemistry, as they constitute a very important conceptual nucleus in this science, and cover a multitude of phenomena of daily life whose understanding, undoubtedly, could result in a greater interest of students in science and its learning (King & Ritchie, 2012). In this sense, to educate competent students in the handling and comprehension of situations of daily life through models requires that they are capable of elaborating models on the phenomena addressed and that they develop skills and epistemic values that allow them to use the learned models (Justi & Gilbert, 2002; Authors, 2015). At the core of the design and implementation of a teaching unit that includes modelling practices in the context of carbonated beverages a preliminary study is presented in which the representations that 15-year-old students make of the internal structure a carbonated beverage are evaluated, after studying cited unit. On the one hand, the aim of this study is to determine the validity of a rubric specifically designed for this purpose. On the other hand, to have access to some first results that allows us to improve the teaching proposal for successive implementations. This study represents an advance with respect to a previous one (Authors, 2018) in which the representations of students who had not received instruction on the same topic were analyzed.

METHOD

Once the implementation, (course 2016-2017) of the teaching unit entitled "Deconstructing the carbonated drinks" was completed, the responses of 44 Year 10 students with an average age of 15 years were collected to a questionnaire to evaluate the knowledge and skills acquired. In the first task of the questionnaire, the students were asked: "Taking into account what you have learned, explain at length what soft drinks are and how they are made of. Attach your explanation with a drawing that represents them". For this study a specific rubric has been designed that has taken into account the available literature on the ideas and models of the students about the levels of representation of the matter (Laing, 1999; Authors, 2004) and about the most relevant characteristics of the chemical solutions (Calýk, Ayas, & Ebenezer, 2005). Six dimensions

7.6 Contribución complementaria 6: *La cuestión del consumo excesivo de azúcar en el marco del aprendizaje de disoluciones dentro del contexto de las bebidas gaseosas.*

La cuestión del consumo excesivo de azúcar en el marco del aprendizaje de disoluciones dentro del contexto de las bebidas gaseosas

The issue of excessive sugar consumption through carbonated drinks as a context to learn dissolutions

Joaquín Cañero Arias¹ y José María Oliva Martínez²

¹Universidad de Málaga, Didáctica de las Ciencias Experimentales

²Universidad de Cádiz, Departamento de Didáctica

¡jqncarias@uma.es; ²josemaria.oliva@uca.es

RESUMEN

La cuestión del consumo excesivo de azúcar en nuestra sociedad es una materia de debate e incluso de tratamiento en medios de comunicación a nivel mundial, puesto que lleva asociado problemas de salud y se relaciona con hábitos de alimentación no saludables. Un contexto en el que el azúcar es protagonista, es el de las bebidas gaseosas, las cuales pueden ser un ámbito adecuado para el aprendizaje de la química, en concreto de las disoluciones. Así, esta comunicación presenta las actividades relacionadas con el tratamiento del consumo de azúcar, dentro de una secuencia de enseñanza aprendizaje, para estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria, titulada "Deconstruyendo las bebidas gaseosas" en el marco de una tesis doctoral.

Palabras clave: Enseñanza en contexto, Química, Aprendizaje de las disoluciones, Bebidas carbónicas, Consumo de azúcar.

ABSTRACT

In our society the issue of excessive sugar consumption is a matter of debate and even it is treated in the global media, since it is associated with health problems and is related to unhealthy eating habits. Carbonated drinks are a context where sugar is the main protagonist and they can be an appropriate chemistry learning environment and more specifically dissolutions. Thus, this paper presents the tasks related to the approach of sugar consumption, within a teaching-learning sequence for Compulsory Secondary Education students', entitled "Deconstructing carbonated drinks" within the framework of a doctoral thesis.



7.7 Contribución complementaria 7: Evolution of the models used by students aged 13-14 years to explain the dissolution of gases in liquids in the context of a teaching-learning sequence about carbonated drinks. (artículo aceptado con modificaciones)

Autores: Joaquín Cañero Arias, Ángel Blanco López y José María Oliva Martínez.

Tipo de publicación: artículo.

Revista: *International Journal of Science Education*

ISSN: 0950-0693

ISSNe: 1464-5289

Año: 2021

Publicada por: Taylor and Francis.

Indicadores de calidad científica de la revista: Indexada en JCR-SSCI, categoría Education and Educational Research (Q1, factor de impacto 2020: 2.241) y SJR (Scopus) (Q1, factor de impacto 2020: 1.092).

Preguntas de investigación a las que responde: P6 y P7 (estudio 3).