



¿Qué sub-competencias digitales muestran unos alumnos de 4º de Educación secundaria obligatoria ante una animación sobre una reacción química a nivel microscópico?

Daniel Valverde Crespo¹, Joaquín González Sánchez² y Antonio de Pro Bueno¹

¹Dpto. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia.

²Dpto. Química Física. Universidad de Murcia.

[Recibido el 13 de marzo de 2017, aceptado el 20 de mayo de 2017]

Es preciso conocer qué competencias tiene el alumnado, adquiridas dentro o fuera del aula, como paso previo para tratar de actuar sobre ellas. El presente estudio pretende describir cómo utilizan la información contenida en una animación un grupo de 55 estudiantes de 4º de la ESO. La animación representaba una reacción química a nivel molecular y formaba parte del proyecto Ulloa, recurso didáctico ofrecido por la Administración Educativa para la enseñanza de la Química. Los resultados apuntan a que los participantes utilizan con facilidad la información de la animación para identificar ideas, hacer predicciones o realizar inferencias cercanas, pero presentan dificultades para localizar errores, justificar las inferencias cercanas o realizar inferencias lejanas.

Palabras clave: Reacciones Químicas; Animaciones; Competencias; Aprendizaje de las ciencias; Educación Secundaria Obligatoria.

What digital sub-competences show some students of 4th Secondary education at an animation about a chemical reaction at the microscopic level?

We must know what competences the students have acquired, within or outside the classroom, as a preliminary step to try to act on them. This study aims to describe how they use the information in an animation a set of 55 students of 4th Secondary Education level. Animation represented a chemical reaction at the molecular level and Ulloa was part of the project, teaching resource offered by the Educational Administration for teaching Chemistry. The results suggest that participants use the information easily animation to identify ideas, making predictions or make nearby inferences, but have difficulty locating errors, justifying nearby inferences or making distant inferences.

Keywords: Chemical reactions; Animations; Competences; Science learning; Secondary Education.

Para citar el artículo. Valverde, D., González, J., González, J. y De Pro, A. (2017). ¿Qué sub-competencias digitales muestran unos alumnos de 4º de Educación secundaria obligatoria ante una animación sobre una reacción química a nivel microscópico? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), 40-57. DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2009>
Contacto. daniel.valverde@um.es, josquin@um.es, nono@um.es

Objetivo de la investigación

Las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) están plenamente integradas en nuestra sociedad. No sólo son herramientas para informar o comunicarse (Cubero, 2003). Su propia evolución, su comercialización y su aceptación social han propiciado cambios importantes en nuestro estilo de vida, en la forma de relacionarnos e, incluso, en la manera de pensar y expresarnos. Por ello, las posibilidades de incorporarlas al ámbito educativo han crecido en las últimas décadas (Area, 2008; De Pablos, Colás y González, 2010).

Esta “implantación masiva” exige una mayor atención de la investigación. No obstante, hay creencias y afirmaciones que, en principio, habría que desechar. Así, a menudo se habla de las excelencias –menos de las deficiencias– del uso de las TICs, como si sólo hubiera una manera de utilizarlas en el aula. No son un modelo educativo o un planteamiento metodológico; son recursos didácticos que pueden presentarse en diferentes medios (transmisivos, activos, interactivos...) y con distintos enfoques (Galvis, 2004). Por ello, no se puede hablar de las TICs, en genérico, como si hubiera una forma universal y única de utilización.

Obviamente, estas consideraciones son trasladables a la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias. La presencia de las TICs en la vida cotidiana también ha afectado a la “ciencia de la publicidad”, a la “ciencia de la TV”, a la “ciencia de la comunicación audiovisual”, etc. Y, en consecuencia, afecta o debería afectar a la “ciencia escolar” (Pro, 2011). Cada día hay un mayor de recursos a disposición del profesorado, que abarcan casi todas las temáticas (INTEF, 2017). Quizás, habría que plantearse: ¿reúnen las características científicas y pedagógicas exigibles a estas herramientas didácticas?

No obstante, en este trabajo no pretendemos entrar en la idoneidad del contenido o en la forma de utilizarlos en las clases. Una cosa es estudiar los efectos de una propuesta, en la que haya TICs, en el aprendizaje científico de un estudiante y otra diferente es estudiar cómo el estudiante utiliza sus conocimientos, creencias, habilidades, destrezas, etc. en un contexto digital, en el subyacen contenidos científicos. Nuestro trabajo se enmarca en este último ámbito.

Hablar de “utilidad y utilización de...” nos lleva a la idea de “competencia”. La incorporación del término al currículum oficial ha disparado las aportaciones para clarificar su significado, diferenciar sus tipos, identificar subcompetencias, ejemplificar actividades en las que están implícitas, etc. (Zabala y Arnau, 2007; Jiménez, 2010; Pedrinaci, 2012). En este contexto, la enseñanza de las ciencias debe contribuir a la adquisición y el desarrollo, entre otras, de la competencia digital.

“El trabajo científico tiene formas específicas para la búsqueda, recogida, selección, procesamiento y presentación de la información que se utiliza además en muy diferentes formas: verbal, numérica, simbólica o gráfica [...] Por otra parte, en la faceta de competencia digital, también se contribuye a través de la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación en el aprendizaje de las ciencias para comunicarse, recabar información, retroalimentarla, simular y visualizar situaciones, para la obtención y el tratamiento de datos, etc. Se trata de un recurso útil en el campo de las ciencias de la naturaleza y que contribuye a mostrar una visión actualizada de la actividad científica” (MEC, 2007; p. 692)

Por lo tanto, la competencia digital forma parte de lo que debe aprenderse en las asignaturas de Ciencias. Por su carácter transversal, por supuesto, también deberá ser objeto de estudio en otras materias, aunque nosotros sólo nos ocupemos del ámbito

científico. Es diferente a la competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico o a la competencia en ciencia y tecnología, pero también forma parte de lo que debe enseñarse para alfabetizar científicamente a los ciudadanos.

Ahora bien, si seguimos creyendo en la importancia de lo que sabe el alumnado para utilizarlo en la construcción de sus conocimientos, habría que preguntarse: ¿qué sabemos sobre el grado de adquisición que tienen los estudiantes en relación con la competencia digital? Pensamos que es necesario conocer qué subcompetencias, de carácter digital, tiene el alumnado en el ámbito del conocimiento científico, aunque lógicamente necesitaremos más de un trabajo para ello.

Revisión de aportaciones

La investigación didáctica ha puesto de manifiesto que los estudiantes tienen dificultades para conceptualizar las reacciones químicas. Entre las causas se alude a las exigencias cognitivas inherentes a los modelos interpretativos que las explican; a la necesidad de manejar tres niveles diferentes de representación (macroscópico, microscópico y simbólico); y a algunas ideas, creencias y concepciones que tienen los estudiantes, que no son compatibles con las teorías y leyes científicas (Caamaño, 2003; Gabel, 1999; Johnstone, 2010). Pero ¿influye en la conceptualización el hecho de que el contenido tenga un formato digital?

Por otro lado, se ha considerado que las representaciones pictóricas y gráficas facilitan la comprensión de ideas científicas, especialmente cuando éstas exigen una cierta abstracción (Suits y Sanger, 2013). Por ello, las animaciones -representaciones visuales, simplificadas y dinámicas de un fenómeno, proceso o modelo- pueden cumplir con esta función. Según algunos autores (Bouciguez y Santos, 2010; Romero y Quesada, 2014), su introducción e integración en las aulas debe seguir unos procesos para que produzcan los efectos deseados. De hecho, la introducción de estos recursos ha sido discutida por algunos (Tversky y Morrison, 2002; Tasker y Dalton, 2006; Williamson, 2011; Stieff y Ryan, 2013).

Hay trabajos y experiencias sobre diferentes tópicos de la química -como la naturaleza particular de la materia, los cambios de estado (Ozmen, 2011) y la visualización de moléculas orgánicas (Al-Balushi y Al-Hajri, 2014)- en los que se han obtenido resultados positivos. Sin embargo, también existen otros en los que se concluye que no se produce dicha mejora; así ocurre, en Kelly y Jones (2007), tras utilizar animaciones sobre la disolución del NaCl en agua a nivel molecular o, en Smith y Villareal (2015), con otras sobre cambios de estado y el proceso de disolución de sólidos en líquidos. En cualquier caso, nuestro propósito no es evaluar ni el contenido ni el uso de una animación, ni de forma aislada ni formando parte de una propuesta. Como hemos dicho, queremos estudiar cómo unos alumnos utilizan unas subcompetencias de carácter digital, ¿usamos unas animaciones para ello?

Pero nuestro trabajo se apoya en la competencia digital; nos interesa conocer qué es y qué áreas contemplan. En el currículum oficial (MEC, 2007) se dice: “la competencia digital es aquella que implica el uso creativo, crítico y seguro de las tecnologías de la información y la comunicación para alcanzar los objetivos relacionados con el trabajo, la empleabilidad, el aprendizaje, el uso del tiempo libre, la inclusión y participación en la sociedad”.

Según European Parliament and the Council (2006), “la competencia digital implica el uso crítico y seguro de las Tecnologías de la Sociedad de la Información para el trabajo,

el tiempo libre y la comunicación. Apoyándose en habilidades TIC básicas: uso de ordenadores para recuperar, evaluar, almacenar, producir, presentar e intercambiar información, y para comunicar y participar en redes de colaboración a través de Internet”.

Según este informe, las áreas de competencia digital pueden resumirse en:

1. **Información:** identificar, localizar, recuperar, almacenar, organizar y analizar la información digital, evaluando su finalidad y relevancia.
2. **Comunicación:** comunicar en entornos digitales, compartir recursos a través de herramientas en línea, conectar y colaborar con otros a través de herramientas digitales, interactuar y participar en comunidades y redes; conciencia intercultural.
3. **Creación de contenido:** crear y editar contenidos nuevos (textos, imágenes, videos...), integrar y reelaborar conocimientos y contenidos previos, realizar producciones, artísticas, contenidos multimedia y programación informática, saber aplicar los derechos de propiedad intelectual y las licencias de uso.
4. **Seguridad:** protección personal, protección de datos, protección de la identidad digital, uso de seguridad, uso seguro y sostenible.
5. **Resolución de problemas:** identificar necesidades y recursos digitales, tomar decisiones a la hora de elegir la herramienta digital apropiada, acorde a la finalidad o necesidad, resolver problemas conceptuales a través de medios digitales, resolver problemas técnicos, uso creativo de la tecnología, actualizar la competencia propia y la de otros.

Hay otras clasificaciones de subcompetencias de la competencia digital en el ámbito de la educación; por ejemplo, la del Departamento de Educación del Gobierno Vasco (2012) o la de Magro et al. (2014) clarifican de qué estamos hablando.

En este trabajo nos centramos sólo en el área de la información, la cual presenta elementos comunes con la competencia en la comunicación lingüística tal y como se señala en la legislación, puesto que “requiere de conocimientos relacionados con el lenguaje específico básico: textual, numérico, icónico, visual, gráfico y sonoro, así como sus pautas de decodificación y transferencia” (MEC, 2007). Por ello, adaptaremos algunas subcompetencias usadas en otros trabajos (Pro y Rodríguez, 2014a; 2014b).

Por último, queremos señalar que la adquisición de la competencia digital (y de las subcompetencias correspondientes) se realiza dentro y fuera de la escuela. Es más, dados los planteamientos habituales en la enseñanza de las Ciencias, creemos que la incidencia extraescolar es mayor que la escolar. En cualquier caso, nos hemos planteado: ¿Qué sub-competencias digitales ponen de manifiesto unos alumnos de 4º de ESO cuando utilizan una animación –sin intervención docente- que representa una reacción química a nivel molecular?

Diseño de la investigación

Nuestro trabajo responde a un enfoque cualitativo-descriptivo. Debemos especificar qué participantes han intervenido en la experiencia y en qué contexto se ha planteado, qué recurso hemos empleado y qué subcompetencias contemplaba.

a) Participantes y contexto

El estudio se ha realizado en cuatro centros públicos de secundaria de Murcia. El nivel socio-económico de los mismos es medio-alto. Poseen aulas de informática, habitualmente utilizadas en las clases. Participaron 55 estudiantes de 4º de Educación secundaria obligatoria (en adelante ESO) (con edades entre los 14 y los 16 años) que

cursaban la asignatura de Física y Química y la optativa Profundización en Física y Química. Se eligieron estos grupos por su disponibilidad y por estar habituados al uso de ordenadores.

Para elegir la temática, pensamos que el desarrollo cognitivo de alumnos de 4º de la ESO les debe permitir el conocimiento, la comprensión y la utilización de un modelo microscópico elemental (Raviolo, Garritz y Sosa, 2011). Es cierto que pueden estar mediatizados por interpretaciones macroscópicas o por concepciones alternativas (Hierrezuelo y Montero, 1989; Kind, 2004) pero es un tópico importante en la educación obligatoria (Lacolla, Meneses y Valeiras, 2013) y, por tanto, óptimo para el objetivo de este trabajo.

La experiencia consistió en que, de forma individual, los participantes primero visualizaron una animación de internet, interactuaron con ella y, posteriormente, respondieron un cuestionario sobre el contenido de la misma. Se llevó a cabo antes de que iniciaran la unidad de reacciones químicas para que las diferentes prácticas docentes de cada grupo no influyesen en las respuestas de los alumnos. Todos los participantes habían cursado los contenidos recogidos en la tabla 1 durante el curso anterior, según el currículo oficial de la Región de Murcia (BORM, 2007).

Tabla 1. Contenidos y criterios de evaluación en el currículum de la Región de Murcia.

Bloque y apartados	Contenidos	Criterios de evaluación
Bloque 4: Los cambios químicos y sus aplicaciones. Apartado: Las reacciones químicas.	<ul style="list-style-type: none"> - Perspectivas macroscópica y atómico-molecular de procesos químicos. - Representación simbólica. - Conservación de la masa. - Cálculos de masa en reacciones químicas sencillas. - Realización experimental de algunos cambios químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguir entre cambio físico y químico. - Comprobar que la conservación de la masa se cumple en la reacción química. - Escribir y ajustar correctamente ecuaciones químicas sencillas. - Resolver ejercicios numéricos en los que intervengan moles.

b) Descripción de la animación utilizada

La prueba se apoyaba en una animación del Proyecto Ulloa, un recurso TIC del Ministerio de Educación y Ciencia (MECD, 2005), cuyo objetivo es proporcionar materiales a alumnos y docentes para la enseñanza de la química. Representa una reacción química a nivel molecular (Figura 1) y se encuentra en:

<http://recursostic.educacion.es/ciencias/ulloa/web/ulloa1/tercero/tema4/oa2/index.html>.

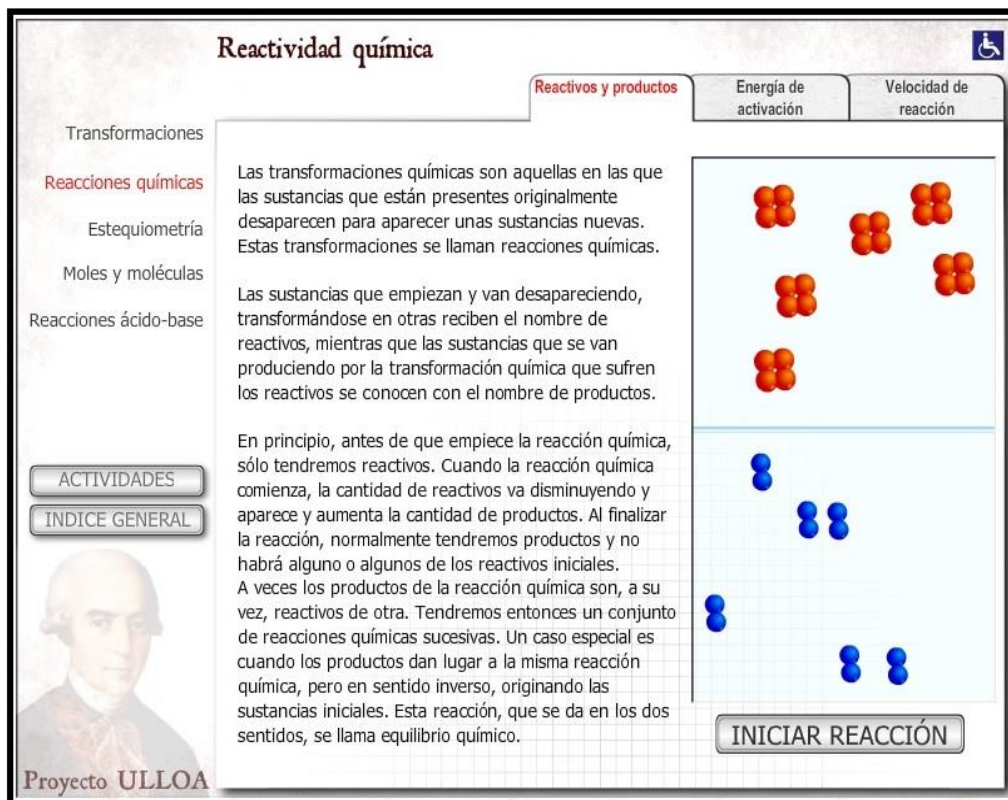


Figura 1. Interfaz de la animación utilizada

La interfaz gráfica consta de un texto introductorio y la animación propiamente dicha. La reacción química representada se produce en fase gaseosa; en un recipiente cerrado, se muestran seis moléculas diatómicas de un reactivo de color azul y otras seis moléculas tetraatómicas de color naranja. Ambos reactivos están separados por una barrera y se mueven al azar a la misma velocidad. Cuando se pulsa el botón "Iniciar la reacción", la barrera que separa las moléculas de los reactivos desaparece y se produce la reacción.

La animación contiene errores conceptuales. Cuando una molécula de color azul (dos átomos) choca con una naranja (cuatro átomos) se genera una nueva molécula producto que contiene siete átomos (por seis de los reactivos) y, de estos, hay cinco de color azul (por dos en la molécula de reactivo) y dos de color naranja (por cuatro del reactivo), como se esquematiza en la figura 2.

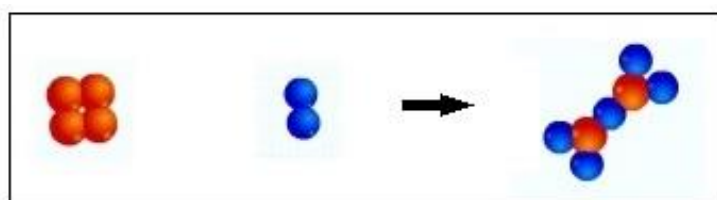


Figura 2. Error conceptual contenido en la animación

Se parte de 24 partículas de color naranja y 12 partículas de color azul y en la situación final hay 12 partículas de color naranja y 30 de color azul. Esto supone que no se cumple la Ley de conservación de la materia (Chang, 2010; Petrucci, 2007), teniendo en cuenta

que la reacción mostrada ocurre con una estequiometría de 1:1. Este contenido debería haberse abordado antes de 4º de la ESO.

Otro error conceptual lo localizamos en el texto; así, al definir reacción química, se dice que las sustancias “desaparecen y aparecen” pudiendo reforzar que no se conserva la masa del sistema.

En cuanto a errores didácticos, el principal se produce al integrar la información visual de la animación a nivel microscópico con la verbal del texto que se realiza macroscópicamente ya que, según el principio multimedia (Mayer y Moreno, 2002), los estudiantes mejoran las conexiones entre la información visual y verbal cuando se realizan al mismo nivel.

Conscientes de estos errores, se seleccionó esta animación porque:

- a) Es un recurso realizado y propuesto por el Ministerio y recomendado en el banco de recursos para profesores Educalab (MEDC, 2016).
- b) Se trata de un recurso en lengua castellana, lo que facilita su uso por los participantes.
- c) Presenta una gran simplicidad conceptual y de manejo (hay otras de mayor calidad, pero introducen elementos complejos para 4º ESO).
- d) Combina un texto y una simulación, lo que nos permite estudiar el predominio de la información visual o textual en las respuestas de los usuarios.
- e) El error conceptual en la animación permite preguntar sobre el mismo y evaluar la capacidad de localizar errores en un texto y un AV; los autores consideramos que, en la situación presente, continuamente expuestos a información no siempre adecuada, la localización de errores es una subcompetencia deseable para los ciudadanos para consumir y valorar la información de forma crítica y fundamentada.

c) Instrumento de recogida de información

Queríamos saber cómo los participantes localizaban, utilizaban, interpretaban o se posicionaban ante la información de una herramienta digital –una animación- que versa sobre un contenido científico relevante. Para ello, a partir de esta animación se planteó un cuestionario. Cada ítem pretendía evaluar una subcompetencia de carácter digital (de tipo informativo), como recoge la tabla 2.

Hemos de aclarar que la intención del investigador cuando realiza una pregunta –que el estudiante ponga en juego una determinada subcompetencia- no siempre coincide con la que el alumno utiliza.

Tabla 2. Subcompetencias y preguntas del instrumento de recogida de información

Subcompetencias digitales	Descripción	Pregunta del cuestionario
Identificación de ideas en AV	La respuesta deseable se encuentra en el audiovisual de forma "literal" o explícita.	1. En la animación que hay junto al texto, ¿quiénes son los reactivos y quiénes son los productos de la reacción química?
Descripción de observaciones en AV	La respuesta deseable debe describir una situación observable en el audiovisual.	2. Describe brevemente qué ocurre en la animación antes y después de pulsar el botón de "Iniciar Reacción".
Interpretación de observaciones en un AV	La respuesta deseable debe explicar científicamente un hecho acontecido en el audiovisual.	3. ¿Por qué lo que se observa en la animación es una reacción química? 5. Según lo observado, ¿qué tiene que pasar para que se produzca una reacción química a partir de unos reactivos?
Realización de predicciones a partir de un AV	La respuesta deseable exige hacer predicciones científicas a partir de la información contenida en el audiovisual.	4. ¿Qué crees que ocurriría si hubiera más moléculas azules que naranjas al pulsar "Iniciar Reacción"?
Realización de inferencia lejana a un AV	La respuesta deseable se relaciona con la temática del audiovisual pero no con su contenido (ni con el texto ni con la animación)	6. Di tres ejemplos de reacciones químicas que conozcas en tu vida cotidiana.
Localización de errores en un AV	La respuesta deseable identifica errores conceptuales en la información del audiovisual.	7. En la animación junto al texto hay un error, ¿serías capaz de decir cuál es? ¿Por qué es un error? Explícalo brevemente.

Descripción de resultados

Vamos a mantener como referentes las subcompetencias objeto de estudio.

a) Respecto a la identificación de ideas en AV

En la primera pregunta, separamos la identificación de los reactivos y la de los productos. Los resultados con los reactivos se recogen en la tabla 3.

Tabla 3. Identificación de los reactivos de la reacción química.

Respuestas Cuestión 1. Reactivos	
Los reactivos son las naranjas y las azules por separado/ las naranjas y las azules	25/55
Los reactivos son las naranjas/ los reactivos son las azules	8+4/55
Los reactivos son todos/ Antes sólo están los reactivos	5/55
Los reactivos son las sustancias que empiezan y van desapareciendo	3/55
Los reactivos son las moléculas naranjas y las azules	2/55
Los reactivos son las naranjas ya que en la reacción se reduce su número	2/55
Los reactivos son las sustancias que se van transformando	2/55
La imagen de arriba los reactivos. La imagen de abajo los reactivos también	1/55
Otras respuestas poco claras con frecuencia igual a 1	1/55
No responden	2/55

Pocos participantes (3/55) reprodujeron la definición que aportaba el texto ("Los reactivos son las sustancias que empiezan y van desapareciendo"), que es lo que pretendíamos.

Con mayor o menor precisión (27/55), los participantes reconocieron los reactivos, pero utilizaron la subcompetencia observación y no la identificación de ideas (se refirieron a los colores de las moléculas de la animación); de ellos, sólo dos usaron el término "molécula", lo que pone de manifiesto limitaciones en la comunicación escrita. Además, se recogen respuestas (5/55) que parecen acertadas ("antes sólo están los reactivos") pero que tienen un cierto grado de inconcreción.

Entre las no adecuadas, las más frecuentes (14/55) señalaron, como reactivos, sólo las moléculas de uno de los colores (nuevamente la observación predomina sobre la

identificación). En dos, justificaron la elección de las naranjas porque el número de átomos de dicho color se reduce, lo que indica que la simulación pudo inducir a error a los estudiantes. Los resultados en relación con los productos se recogen en la Tabla 4.

Tabla 4. Identificación de los productos de la reacción química.

Respuestas Cuestión 1. Productos	
Los productos son los finales, naranjas y azules, cuando están juntos/unidos	15/55
Los productos son los azules/ Los productos son los naranjas	8+4/55
Los productos son la mezcla de rojas y azules	7/55
Los productos son los resultantes de la reacción/ el resultado de la reacción	5/55
Los productos son las sustancias que se producen por transformación/ son los reactivos ya transformados	3/55
Los productos son las sustancias que se van produciendo/aumentando. /Al dar a "iniciar reacción" se forman los productos.	3/55
Los productos son las moléculas que se forman cuando se unen	2/55
Los productos son los azules porque en la reacción se producen más	2/55
El producto resultante es una especie de X formada por 2 bolitas naranjas y 5 azules	1/55
Otras respuestas poco claras con frecuencia igual a 1	2/55
No responden	3/55

Pocos participantes (3/55) reprodujeron la definición aportaba en el texto ("las sustancias que se van produciendo por la transformación química que sufren los reactivos"), que era lo deseable.

Hay otras (26/55) que, como en los reactivos y con distinta precisión comunicativa, parece que usaron la observación y no la identificación (se refieren a los colores o a la acción "iniciar reacción"); de ellas, sólo dos emplearon el término "moléculas" y uno describió la composición de la nueva partícula. También encontramos otras (5/55) que hablaban de resultantes o resultado de la reacción, aunque eran expresiones ambiguas que no se recogían en el texto.

Respecto a las no adecuadas, un número importante (14/55) señalaron las "bolas" de uno de los colores; la escasa concreción no nos permite indagar en las causas de los errores; de ellos, hay dos en los que se aprecia la influencia del error de la animación.

En conjunto, algo más de la mitad han realizado ambas identificaciones de forma adecuada, aunque la mayoría –excepto 3/55– se han referido a los colores de los objetos de la animación, lo que indica que la información visual ha prevalecido sobre la textual.

b) Respecto a la descripción de observaciones en AV

Diferenciamos la observación antes y después de pulsar el botón de inicio de la reacción. En cuanto a la situación inicial, las respuestas se recogen en la tabla 5; 12/55 no mencionó esta fase del proceso.

Tabla 5. Descripción observaciones antes de pulsar

Respuestas Cuestión 2. Antes de pulsar el botón	
Antes los reactivos/naranjas y azules estaban separados	20/55
Las sustancias se mueven por separado/ Los reactivos se mueven por separado	5/55
Antes solamente hay reactivos/ No había reacción química	4+2/55
Las sustancias van por libre/ Los reactivos se mueven libremente	3/55
Antes los reactivos chocan/rebotan con las paredes	2/55
Los reactivos y los productos estaban separados	2/55
Antes las moléculas naranjas y azules se movían por separado	1/55
Las moléculas naranjas y azules están separadas antes de pulsar el botón	1/55
Hay grupos: arriba 6 grupos de 4 bolitas y abajo 6 grupos de dos bolitas	1/55
Otras respuestas poco claras con frecuencia igual a 1	2/55
No se realiza descripción del estado inicial del sistema	12/55

Las propiedades observables que utilizaron los estudiantes que hicieron descripciones acertadas fueron el color, la separación, el movimiento de las moléculas o ambas. Entre ellas hay dos que mencionan el término “moléculas” y en una se describe con detalle la situación. Además, entre las respuestas acertadas encontramos 6/55 que aluden que, aún, no se ha producido una reacción química; probablemente se apoyaran en la información visual pero no sabemos la influencia del texto.

Hubo pocas descripciones no adecuadas. Entre ellas algunas también utilizaron propiedades observables (choques con las paredes); las demás realizaron una incorrecta identificación de reactivos y productos.

En relación con lo sucedido tras pulsar el botón, casi todos lo describieron, con diferente grado de acierto, como puede apreciarse en la tabla 6.

Tabla 6. Descripción observaciones después de pulsar

Respuestas Cuestión 2. Después de pulsar el botón.	
Después se van juntando/uniendo/mezclando	13/55
Se unen/juntan y crean/forman los productos	12/55
Se juntan/unen/mezclan y se produce una reacción/se transforman	9/55
Después comienza la reacción/ Se produce una reacción que da lugar a los productos	2+2/55
Los átomos naranjas al juntarse con los azules desaparecen la mitad y en los azules se multiplican/ Después: Se quita la barrera que los separa y los cuerpos naranjas y azules se unen desapareciendo dos bolas de los cuerpos naranjas y apareciendo dos bolas azules en cada mezcla/ Después se unen dando lugar a los productos, se quedan la mitad de reactivos rojos	3/55
Los reactivos chocan con los productos/ Los reactivos y los productos se unen	3/55
Disminuyen los reactivos y aumentan los productos	3/55
Al reaccionar entre sí, se agrupan y forman una molécula nueva	2/55
Al darle a iniciar reacción, empiezan a mezclarse, y forman un compuesto con 5 bolitas azules y 2 naranjas	1/55
Otras respuestas poco claras con frecuencia igual a 1	4/55
No se realiza descripción del estado final del sistema	1/55

Pocos participantes (3/55) identificaron y describieron acertadamente los errores de la animación, sirva de ejemplo: “Los átomos naranjas al juntarse con los azules desaparecen la mitad y los azules se multiplican”. A estos se podría añadir uno que describió con detalle la nueva partícula.

Hubo muchas respuestas (36/55) que señalaron que se juntan, que se juntan y forman productos, y que se juntan y se produce una reacción. Entre ellas, sólo dos usaron el término “moléculas”, mientras que algunos (5/55) se expresaron coloquialmente o tuvieron una confusión terminológica o conceptual (“se mezclan”). Aunque casi todas las acertadas se apoyaron en la información visual, también hubo algunas (3/55) condicionadas por la afirmación contenida en el texto “al unirse los reactivos con los productos, los primeros disminuyen y los segundos aumentan”.

En otros casos más ambiguos (4/55), no sabemos la influencia porque responden simplemente que se produce una reacción.

En conjunto, como en la anterior, la información visual ha prevalecido sobre la textual, en este caso, de acuerdo a lo que pretendíamos. Por otro lado las descripciones fueron escuetas y mostraban dificultades en la comunicación escrita por parte de los participantes.

c) En relación a la interpretación de lo observado en un AV

Dos preguntas se ocupaban de esta sub-competencia; en ambas las contestaciones fueron escuetas. Las respuestas a la cuestión 3 se encuentran en la tabla 7.

Tabla 7. Respuestas a la cuestión tres.

Respuestas Cuestión 3	
Porque las sustancias iniciales/los reactivos desaparecen y aparecen sustancias nuevas	22/55
Porque los reactivos/las sustancias se unen	7/55
Porque se juntan unos reactivos y forman/crean unos productos	6/55
Porque ocurre una transformación de las sustancias iniciales en una sola sustancia/ Los reactivos iniciales se han transformado en productos/ las sustancias se han transformado	3/55
Porque las moléculas del principio/de los reactivos pasan a ser unas moléculas nuevas/distintas	3/55
Porque cambia la estructura/ Se altera la estructura de los átomos	2/55
Porque van desapareciendo los reactivos y los productos aumentando	1/55
Porque se cambia la naturaleza química de las sustancias y dan lugar a una nueva	1/55
Otras respuestas poco claras con frecuencia igual a 1	8/55
No se realiza descripción del estado final del sistema	2/55

Hay muchas respuestas acertadas que parecen basarse en el texto de la animación. Así, hablan de “sustancias que desaparecen y aparición de nuevas” (22/55), “transformación” (3/55), “disminuyen reactivos y aumentan los productos”, entre ellas sólo tres utilizan el término “molécula”. Además, hay otras que consideramos correctas (6/55) y que parece que se basan en la información visual (los reactivos se “unen o juntan” para formar el producto).

Nos ha sorprendido que en una respuesta se hable de un cambio en la naturaleza química de las sustancias iniciales y que, en otras dos, se indiquen cambios de “estructura”. Estos términos no se encuentran en el texto y su presencia puede deberse a los conocimientos de los participantes.

El número de respuestas ambiguas en esta cuestión es inquietante y refleja los problemas en la comunicación escrita. La mayoría (7/55) solamente interpretan de forma inconcreta que los reactivos únicamente “se unen”.

Por otra parte, los resultados de la cuestión 5 se recogen en la Tabla 8.

Tabla 8. Respuestas en la cuestión cinco.

Respuestas Cuestión 5	
Tienen que tener contacto/ Tienen que chocar	17/55
Tienen que unirse/juntarse	13/55
La cantidad de reactivos disminuye y aparece y aumenta la cantidad de productos	6/55
Que entren en contacto y se produzca un enlace/ Que interactúen y se forme un enlace	2/55
Que estén en el mismo recipiente	2/55
Que haya la misma cantidad/el mismo número de los dos reactivos	2/55
Se tiene que remover	2/55
Que se junten 4 moléculas naranjas con 2 moléculas azules	1/55
Otras respuestas poco claras con frecuencia igual a 1	8/55
No responden	2/55

Las respuestas más frecuentes (19/55) señalaron que debía existir un contacto o choque entre las moléculas de los dos reactivos, lo que resulta llamativo pues los participantes no habían trabajado la teoría de colisiones (se suele introducir de forma cualitativa en 4º

de ESO); hay dos que, incluso, hablan de enlaces. Algunos se pudieron basar en la información visual: los que señalaron que deben juntarse o unirse las sustancias iniciales o reactivos (13/55). Sin embargo, hubo otras (6/55) que se apoyaron en el texto (“los reactivos disminuyen y los productos aumentan”) y que consideramos adecuadas.

Se recogieron muchas contestaciones ambiguas y no acertadas (“estar en el mismo recipiente”, “que haya la misma cantidad” o “tener que remover”). Algunas se apoyaban en la información visual.

Existen diferencias en los resultados de las dos cuestiones, aunque ambas respondan a la misma sub-competencia. Puede deberse a que las respuestas eran poco consistentes y están supeditadas a cómo se planteen las preguntas.

Tabla 9. Predicciones en la cuestión cuarta

Respuestas más frecuentes. Primera predicción	
Las azules/las partículas azules/ los reactivos azules quedarían sueltas/solas/sin unirse/ sin reaccionar	17/55
Quedarían moléculas azules solas/sueltas	15/55
Que el producto tendría más azul/ más propiedades de las moléculas azules/ más moléculas azules	8/55
Que habrían reactivos que quedarían sueltos/solos/ que no se convertirían en productos	5/55
Que se formarían productos/sustancias distintas/diferentes	5/55
Que algunas moléculas azules o naranjas se quedarían sueltas/ Sobraban moléculas azules o naranjas	2/55
Pasaría lo mismo porque el producto que se forma tiene cinco moléculas azules y dos naranjas	1/55
Tendría que ajustarse y aumentar el número de naranjas/ Quedarían moléculas naranjas	2/55
Otras respuestas poco claras con frecuencia igual a 1	8/55

d) Respecto a la realización de predicciones a partir de un AV

Las predicciones se muestran en la tabla 9. Hemos de decir que seis realizaron dos predicciones, aunque ninguno emitió más de una que se considerase adecuada.

Uno señaló que pasaría lo mismo y se refirió detalladamente al proceso de formación (correcto según lo observado, aunque la simulación contenga el error mencionado). Sobre todo, hubo muchas predicciones (32/55) en las que la idea fundamental es que quedarían partículas o reactivos azules sin reaccionar o “sueltas”, lo que consideramos adecuadas con diferente grado de precisión. De ellas, un número superior al de otras cuestiones utiliza el término “moléculas”, posiblemente por la forma de plantear la cuestión.

En los demás casos, las respuestas fueron inadecuadas, con modelos interpretativos a estudiar. Unos participantes dijeron que las partículas azules darían una tonalidad de dicho color (¿asignan propiedades macroscópicas a las partículas?), otros creían que se produciría otra reacción (¿si cambia la cantidad de reactivos, se produce “otra” reacción?), también los hay que señalaron que hay partículas naranjas sin reaccionar (¿a pesar de que hay azules “sueltas”?).

Además, hubo predicciones ambiguas, las más repetidas (5/55) indican que quedarían reactivos sin reaccionar, sin indicar de cuál se trataría. Otras no somos capaces de interpretarlas: “la reacción sería más grande”, “habrá más reacción”, “se juntarían más reactivos y formarían más sustancia”, “se quedarían moléculas con más reactivos”...

En resumen, hubo más predicciones adecuadas que inadecuadas. En las primeras los estudiantes parecen haber utilizado la información de la simulación y, en pocas ocasiones, la textual. Ahora bien, muchos no conocen las propiedades del modelo

cinético molecular y asignan propiedades macroscópicas (por ejemplo, el color) a las partículas o las moléculas.

e) Respecto a las inferencias lejanas a la información de AV

Hubo una gran variedad de respuestas (140/165) ya que casi todos proporcionaron tres ejemplos. La mayoría de las transformaciones señaladas eran químicas. Destacaban las reacciones de oxidación-reducción (78/140), siendo de varios tipos (combustión: “al quemar madera”, oxidación de metales: “cuando se oxida un tornillo”...). Otros ejemplos de reacciones con menor frecuencia fueron: “la reacción en las pilas/baterías” (3/140), “la oxidación de una manzana/un alimento” (7/140)...

En general, gran parte de las reacciones mencionadas implican un cambio de color (“la oxidación del hierro”) o poseen elementos visuales llamativos como humo, burbujas, fuego... (“encender una cerilla”). Este resultado era esperado debido a las representaciones sociales que los alumnos de secundaria poseen de las transformaciones químicas (Lacolla, Meneses y Valeiras, 2014). Por último, cabe destacar que algunos respondieron “la fotosíntesis” (10/140) y “respiración celular” (7/140), posiblemente debido a los contenidos impartidos en Biología y Geología durante los días cercanos a la recogida de información.

También respondieron con transformaciones físicas, referidas a cambios de estado (5/140, “congelar agua para hacer cubitos/hielo”, “cuando calientas agua y se evapora”...) y la formación de mezclas (16/140, “cuando se mezcla agua y azúcar, se obtiene agua azucarada”, “echar agua y aceite”...). También implican cambios visuales llamativos (burbujas, mezclas en que se ven los componentes o en las que una sustancia desaparece, “disolver azúcar en café caliente”).

Incluso, se recogieron respuestas en las que no hay transformación (“una mancha en la ropa”, “cuando corto algún alimento”, “al calentar la leche en el microondas”).

La mayoría de las reacciones, como se pedía, respondían a un contexto cotidiano o vivencial del alumno (“cuando encendemos la cocina de gas”, “cuando se oxida una manzana” ...). Pero también encontramos otras más propias del ámbito escolar, no fácilmente identificables fuera de las aulas (“la reacción que ocurre en una batería”, “la fotosíntesis”, “una reacción de ácido-base”...). Y, en menor medida, respuestas del ámbito digital (5/140), ya que aludían a reacciones vistas en internet (“coca-cola con mentos”, “sulfumán y aluminio”, “mezclar vinagre y bicarbonato y hay un cambio de color”...).

Por último, aunque no se percibe en las respuestas, tuvieron muchas dudas al escribirlas. Dos motivos pueden incidir en estas dificultades: por un lado, el hecho de que, en las inferencias lejanas, no se pueden apoyar en el texto ni en la simulación; por otro, porque se pone de manifiesto la desconexión entre el conocimiento que precisa el mundo real y cotidiano, y el que se aprende en las aulas.

f) Respecto a la localización de errores en un AV

Como ya se indicó, había errores en el texto y en la animación. Sin embargo, sólo se preguntaba por este último. Los resultados se recogen en la tabla 10.

Tabla 10. Localización de errores en la cuestión siete

Errores encontrados	
Se alude a las diferencias entre la situación inicial y la final centrándose en el número de bolas/partículas/reactivos... pero sin aludir a la ley de conservación de la masa	18/55
Originalmente hay 4 naranjas y 2 azules, y en la reacción se unen 5 azules y 2 naranjas. Según la ley de Lavoisier, la masa de los reactivos es igual al principio y al final de la reacción/ Que empiezan siendo 4 partículas naranjas y 2 azules, y al unirse pasan a ser 5 azules y 2 naranjas, lo cual no es posible porque no se mantiene ni la masa ni los reactivos/ Pienso que el error es que al juntarse una de 4 naranjas y otra de 2 azules, se forma una de 2 naranjas y 5 azules. Pero el error del que estoy seguro es que de 6 partículas no pueden resultar 7/ He concluido que en una reacción química no se eliminan, ni añaden partículas, sino que simplemente se transforman. Y en la imagen vemos que de haber 4 partículas naranjas pasa a haber 2, y al haber 2 azules pasa a 5/ Es imposible. Si la molécula azul hay 2 átomos, es un error que en el producto obtengamos 5 átomos azules/ Que el número de moléculas azules aumenta y el de naranjas disminuye. Porque tiene que haber el mismo número de moléculas en los reactivos y en los productos	6/55
Hay veces que hay partículas solas/sueltas	3/55
El número de reactivos debería disminuir y aumentar el de productos	3/55
Que al empezar hay 4 bolas rojas y 2 azules, y después en la molécula hay 2 naranjas y 4 azules/ Que en la molécula naranja hay 4 bolas y en la azul hay 2, y cuando se unen hay 2 naranjas y 5 azules/	2/55
Los rojos pasan a ser azules y las azules a rojos/ Hay un cambio de colorines	2/55
Otras respuestas poco claras con frecuencia igual a 1	10/55
No responden	14/55

Hay que decir que esta cuestión resultó la de mayor dificultad para los participantes (14/55 lo dejaron en blanco) y la que más tiempo requirió su realización, pero también la que suscitó más curiosidad. Por ello, al terminar la prueba, se procedió a explicar dónde se localizaban (en el texto y en la simulación) y por qué se trataba de un error.

Como hemos dicho, la animación utilizada contiene un error conceptual puesto que no se cumple la ley de conservación de la masa. Su identificación parece que la hacen casi la mitad de los participantes, pero con diferente grado de concreción. Hubo quienes relatan lo observado (20/55), pero sin justificar explícitamente la relación entre la masa o la cantidad de reactivos iniciales y la masa o la cantidad de productos finales; de ellos dos utilizan el término “moléculas”.

Solamente seis (6/55) localizaron el error y lo justificaron apoyándose en sus conocimientos sobre la ley de conservación de la masa, sirvan de ejemplo: “Originalmente hay 4 naranjas y dos azules, y en la reacción se unen 5 azules y dos naranjas. Según la ley de Lavoisier, la masa de los reactivos debe ser igual al principio y al final de la reacción”; “Que empiezan siendo 4 partículas naranjas y 2 azules, y al unirse pasan a ser 5 azules y 2 naranjas, lo cual no es posible porque no se mantiene ni la masa ni los reactivos”

Hubo muchas respuestas ambiguas (13/55). Además de las que se recogen en la tabla 10, podríamos señalar “A veces el número de bolitas azules es mayor al de naranjas, que seguirá siendo reactivo”, “Que los reactivos naranjas tienen más masa que los azules”... En estos casos, es difícil conocer qué piensan, por sus limitaciones en la comunicación escrita.

Consideraciones finales

En primer lugar, queremos señalar que no tratamos de evaluar ninguna propuesta, que hubiera requerido una intervención docente en el aula. Las animaciones son herramientas digitales que basan su propósito comunicador en el uso de un lenguaje visual dinámico, pero no están concebidas como un instrumento didáctico único para trabajar todos los contenidos o competencias de una temática. Sólo son unos recursos,

que deben combinarse con otros en un proceso de enseñanza. El objetivo de este trabajo es estudiar cómo unos estudiantes utilizan sus competencias digitales de tipo informativo cuando interactúan con una; en este caso, se refiere a la delimitación y la representación de una reacción química a nivel molecular.

En segundo lugar y en relación a los errores conceptuales y didácticos de la animación, pensamos que, desde el punto de vista docente, para introducir recursos novedosos en las aulas, es necesario asegurarse de la fiabilidad del contenido de los mismos –incluso, los propuestos por la Administración Educativa- ya que pueden ser una correa de transmisión de ideas alternativas a los estudiantes (Kelly y Jones, 2007; Smith y Villareal, 2015).

No obstante, la información textual y visual han puesto en situación a los participantes y estos han debido responder cuestiones, en las que subyacen unas subcompetencias: identificación de ideas (quiénes son los reactivos y los productos), la descripción e interpretación de observaciones (qué es lo que ocurre en una reacción y por qué), la realización de predicciones (qué ocurriría si aumentamos las moléculas de un reactivo), la inferencia lejana a la información del recurso (tres reacciones de la vida cotidiana) y la localización de errores (incumplimiento de la conservación de la masa).

Globalmente hemos podido apreciar que:

- a) hay un predominio de la información visual –la facilitada por la simulación- sobre la textual. Los elementos visuales (color, movimiento, choques, separación o proximidad... de las partículas) han facilitado la comunicación de lo que pensaban los participantes.
- b) hay una tendencia a utilizar los términos coloquiales (las bolas, las azules o las naranjas...) frente a la terminología científica.
- c) se ha corroborado la presencia de ideas alternativas, previstas en la literatura especializada: confundir transformaciones físicas y químicas, asignar propiedades macroscópicas a representaciones microscópicas, incapacidad para aplicar la ley de conservación de la masa... (Hierrezuelo y Montero, 1989; Kind, 2004).
- d) hay limitaciones importantes en la comunicación escrita; las contestaciones suelen ser escuetas, con errores de expresión y no siempre fácilmente comprensibles.

Desde el punto de vista de las subcompetencias digitales, los participantes:

- a) las respuestas más positivas se dan en la identificación de ideas en la animación (utilizando el texto o la simulación) y en la descripción de observaciones. En general los elementos visuales (color, movimiento...) han facilitado la elaboración de sus respuestas.
- b) han tenido más dificultades en las cuestiones en las que debían realizar explicaciones o predicciones de la información que visualizaban; no sólo por sus conocimientos sobre el modelo cinético-molecular, sino por sus limitaciones en la comunicación escrita.
- c) han sido capaces de identificar reacciones, pero sólo la mitad se refieren a hechos cotidianos; algunos respondieron “reacciones académicas” o “digitales”. Hubo errores o respuestas en blanco.
- d) las mayores dificultades las han tenido en la localización de errores (con mayor número de respuestas en blanco); probablemente haya influido la novedad que supone este tipo de preguntas para el alumnado.

Las principales limitaciones del trabajo son que la experiencia se ha realizado en una única sesión de aula, se ha utilizado sólo una animación y con unos errores determinados. Habría que ampliar el número de participantes, de animaciones, de TICs y de otras subcompetencias. No obstante, podemos decir que la información visual ha sido un elemento importante en la comprensión y extracción de información y en la elaboración de las respuestas de los participantes. Pero, precisamente debido a las carencias del recurso o de las limitaciones de los participantes, es preciso, más que nunca, el protagonismo del docente en la selección del recurso y en la gestión del mismo (Romero y Quesada, 2014; Smith y Villareal, 2015).

De acuerdo con Perales (2006), de igual forma que en las aulas de ciencias se realizan con frecuencia actividades que implican la lectura y comprensión de texto escrito y de la información que contiene, sería adecuado también la realización de actividades que impliquen el trabajo y la comprensión de información visual que complementen a las anteriores, con el objetivo de que la integración de la información de los canales visual y textual faciliten la asimilación de los conocimientos.

Referencias

- Al-Balushi, S. M. y Al-Hajri, S. H. (2014). Associating animations with concrete models to enhance students' comprehension of different visual representations in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 47-58.
- Area, M. (2008). La innovación pedagógica con TIC y el desarrollo de las competencias informacionales y digitales. *Investigación en la Escuela*, 64, 5-18.
- BORM (2007). Decreto número 291/2007 por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Boletín de 14 de septiembre de 2007. pp. 27187. Murcia: CARM.
- Bouciguez, M. J. y Santos, G. (2010). Applets en la enseñanza de la Física: Un análisis de las características tecnológicas y disciplinares. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 56-74.
- Caamaño, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la Química. En P. Jiménez: *Enseñar Ciencias* (pp. 23-229). Barcelona: Graó.
- Cubero, J. (2003). Replanteando la Tecnología Educativa. *Comunicar*, 21, 23-30.
- Chang, R. (2010). *Química* (10ª Ed.). México D. F.: Mc Graw Hill.
- De Pablos, J., Colás, P. y González, T. (2010). Factores facilitadores de la innovación con TIC en los centros escolares. Un análisis comparativo entre diferentes políticas educativas autonómicas. *Revista de Educación*, 352, 23-51.
- Departamento de Educación del Gobierno Vasco (2012). *Competencia en el tratamiento de la información y competencia digital. Marco teórico*. Gobierno Vasco
- European Parliament and the Council (2006). Recomendación del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de diciembre de 2006 sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L394/10. Recuperado de: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006H0962&from=EN>
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.

- Galvis, A. H. (2004). *Oportunidades Educativas de las TIC*. Concord, MA: Metacursos
- Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1989) Transformaciones químicas. En Hierrezuelo, J. y Montero, A. *La ciencia de los alumnos*, (pp. 215-232). Barcelona: Laia/MEC.
- INTEF (2017). Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. Recuperado de: <http://educalab.es/intef>
- Jiménez, M.P. (2010). *10 Ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Johnstone, A. H. (2010). You Can't Get There from Here. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 22-29.
- Kelly, R. M. y Jones, L. L. (2007). Exploring How Different Features of Animations of Sodium Chloride Dissolution Affect Student's Explanations. *Journal of Science Education and Technology*, 57(4), 247-262.
- Kind, V. (2004). Ideas de los estudiantes sobre procesos químicos. En Kind, V. *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*, (pp. 53-64). Ciudad de México: Santillana.
- Lacolla, L., Meneses, J. A. y Valeiras, N. (2013). Las representaciones sociales y las reacciones químicas: Desde las explosiones hasta Fukushima. *Educación Química*, 24(3), 309-315.
- Lacolla, L., Meneses, J. A. y Valeiras, N. (2014). Reacciones químicas y representaciones sociales de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 89-109.
- Magro, C., Salvatella, J., Álvarez, M., Herrero, O., Paredes, A., y Vélez, G. (2014). *Cultura digital y transformación de las organizaciones. 8 competencias digitales para el éxito profesional*. RocaSalvatella. Recuperado de: <http://www.rocasalvatella.com/es/8-competencias-digitales-para-el-exito-profesional>
- Mayer, R. E. y Moreno, R. (2002). Animation as an Aid to Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, 14(1), 87-99.
- MEC (2007). *Competencias clave: Competencia Digital CD*. Recuperado de: <http://www.mecd.gov.es/educacion-mecd/mc/lomce/el-curriculo/curriculo-primaria-eso-bachillerato/competencias-clave/digital.html>
- MECD (2005). *Proyecto Antonio de Ulloa*. Recuperado de: <http://recursostic.educacion.es/ciencias/ulloa/web/>
- MECD (2016). *Proyecto Antonio de Ulloa. Recursos para Química*. Recuperado de: <http://educalab.es/recursos/historico/ficha?recurso=579>
- Özmen, K. (2011). Effect of animation enhanced conceptual change texts on 6th grade students' understanding of the particulate nature of matter and transformation during phase change. *Computers & Education*, 57(1), 1114-1126.
- Pedrinaci, E. (2012). *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Barcelona: Graó.
- Perales, F. J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 13-30.
- Petrucci, R.H.; Harwood, W.S. y Herring, F. G. (2007). *Química General (8ªEd.)*. Madrid: Pearson Educación.

- Pro, A. (2011). Conocimiento científico, ciencia escolar y enseñanza de las ciencias en la educación secundaria. En A. Caamaño: *Didáctica de la Física y Química. Vol.II* (pp.13-34). Barcelona: Graó.
- Pro, A. y Rodríguez, J. (2014a). Ahorrando energía en Educación Primaria: estudio de una propuesta de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(2), 151-170.
- Pro, A. y Rodríguez, J. (2014b). Desarrollo de la propuesta "si se necesita más energía... que no se hagan más centrales" en un aula de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 267-284.
- Raviolo, A., Garritz, A. y Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3), 240-254.
- Romero, M. y Quesada, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 101-115.
- Smith, C. K. y Villareal, S. (2015). Using animations in identifying general chemistry students' misconceptions and evaluating their knowledge transfer relating to particle position in physical changes. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 273-282.
- Stieff, M. y Ryan, S. (2013). Explanatory Models for the Research & Development of Chemistry Visualizations. En Suits, J. P. y Sanger, M. J. (Eds.), *Pedagogic Roles of Animations and Simulations in Chemistry Courses*, (pp. 15-41). Washington: American Chemical Society.
- Suits, J. P. y Sanger, M. J. (2013). Dynamic Visualizations in Chemistry Courses. En Suits, J. P. y Sanger, M. J. (Eds.), *Pedagogic Roles of Animations and Simulations in Chemistry Courses*, (pp. 1-13). Washington: American Chemical Society.
- Tasker, R. y Dalton, R. (2006). Research into practise: visualization of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 141-159.
- Tversky, B. y Morrison, J. B. (2002). Animation: can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57(4), 247-262.
- Williamson, M.V. (2011). Teaching Chemistry with Visualizations: What's the Research Evidence? En Bunce D. M. (Ed.) *Investigating Classroom Myths through Research on Teaching and Learning*, (pp. 65-81). Washington: American Chemical Society.
- Zabala, A. y Arnau, I. (2007): *11 Ideas clave. Cómo aprender y enseñar competencias*. Barcelona. Graó.