

Un esquema de evaluación de la capacidad de explicación de los estudiantes en un problema CTS. Un estudio de caso sobre la caries bucal

A scheme for the assessment of students' explanation capacity in an STS problem. A case study on oral cavities

Antonio Joaquín Franco-Mariscal
Universidad de Málaga
antoniojoaquin.franco@uma.es

Ángel Blanco-López
Universidad de Málaga
ablancol@uma.es

Enrique España-Ramos
Universidad de Málaga
enrieni@uma.es

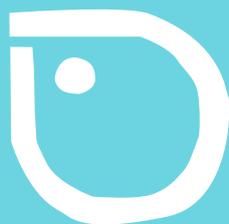
Resumo:

Os problemas reais em situações do quotidiano estão ligados ao enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Estes são de interesse na educação científica, que identifica situações problemáticas relevantes para os cidadãos e transfere-as para a sala de aula. Uma delas é o problema da cárie dentária em adolescentes. Para abordar em sala de aula, foi projetada uma sequência de ensino em que os alunos deviam responder a pergunta: por que razão a cárie dentária ocorre? Este artigo analisa os resultados de um estudo de caso realizado com uma amostra de 15 alunos de 16 anos sobre a capacidade que os mesmos demonstram em explicar este problema. Para a coleta de dados antes e depois da intervenção foi utilizado um teste de conhecimentos. Este artigo propõe um esquema para avaliar a capacidade de explicação dos fenómenos científicos. O esquema consiste em quatro etapas: (1) definição de um referencial teórico, (2) explicação desejada do fenómeno em âmbito escolar, (3) análise das respostas dos alunos, e (4) desenvolvimento de uma rubrica de progresso nas explicações. Foram evidenciados alguns avanços na capacidade dos alunos em explicar como ocorre a cárie dentária, por exemplo, e no reconhecimento do açúcar como um fator importante na dieta. Inicialmente, os alunos mostraram dificuldades em relacionar aspetos do mecanismo envolvido na ocorrência da cárie dentária, não se referindo de forma alguma ao modo como o agente ativo (ácido) se produz. Depois do ensino os alunos evoluíram significativamente em sua capacidade de explicar o mecanismo, apesar de alguns erros iniciais persistirem.

Palavras-chave: Competência científica; avaliação; explicações; cárie dentária.

Resumen:

Los problemas reales en contextos cotidianos están vinculados al enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) y son de interés en la enseñanza de las ciencias identificando situaciones problemáticas relevantes para los ciudadanos trasladables al aula. Una de ellas es el problema de la caries bucal en los adolescentes. Para abordarla en el aula, se ha diseñado una secuencia didáctica donde los alumnos deben dar respuesta al problema ¿por qué se pican los dientes? Este



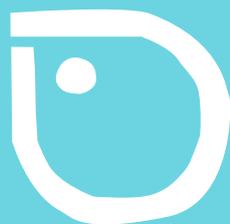
trabajo analiza los resultados de un estudio de caso realizado con una muestra de 15 estudiantes de 16 años en torno a su capacidad para explicar este problema. Para la recogida de datos se utilizó una prueba de conocimientos administrada antes y después de la intervención. Se propone un esquema de evaluación de la capacidad de explicación de fenómenos científicos que consta de cuatro etapas: (1) definición de un referente teórico, (2) explicación deseada del fenómeno en el ámbito escolar, (3) análisis de las respuestas del alumnado, y (4) elaboración de una rúbrica de progreso en las explicaciones. Se evidencian algunos avances en su capacidad para explicar por qué se producen las caries, por ejemplo, el reconocimiento del azúcar como factor importante de la dieta. Inicialmente, los alumnos mostraron dificultades para relacionar los aspectos del mecanismo por el que se produce la caries, no haciendo referencia en ningún caso a cómo se produce el agente activo (los ácidos). Después de la enseñanza los alumnos evolucionaron notablemente en su capacidad de explicación del mecanismo, aunque persistieron algunos errores iniciales.

Palabras clave: Competencia científica; evaluación; explicaciones; caries bucal.

Abstract:

Real everyday problems are linked to the Science, Technology and Society (STS) approach and they are of interest for science education, since they identify relevant problem situations for citizens which can be transferred into the classroom. One such problem is the dental decay in adolescents. In order to address this problem in the classroom, we have designed a teaching sequence where students must answer question: 'Why do teeth decay?'. This paper analyzes the results of a case study, conducted on a sample of fifteen 16 year-old students determined to perceive their ability to answer this question. A knowledge test was used for data collection before and after the intervention. A scheme to evaluate students' abilities to explain scientific phenomena is proposed in this paper. It consists of four stages: (1) definition of a theoretical reference, (2) desired explanation of the phenomenon at the school level, (3) analysis of the responses of students, and (4) development of a set of categories of progress for the explanations. Some progress was evidenced in the students' ability to explain why teeth decay, for instance, their recognition of sugar as an important factor in people's diet. Initially, students showed difficulties to relate the aspects of the mechanism by which teeth decay, not referring in any way to how the active agent (acid) is formed. Students progressed significantly in their ability to explain the mechanism after the application of the teaching sequence, although some initial errors persisted.

Keywords: Scientific competence; evaluation; explanations; oral decay.



Justificación

Se ha planteado la necesidad de conectar la enseñanza con problemas reales, relevantes socialmente y de interés para el alumnado (Caamaño, 2011). La enseñanza en contexto (De Jong, 2006) se ha ido desarrollando y extendiendo en las últimas décadas y se muestra como un enfoque didáctico que motiva a los estudiantes y promueve actitudes positivas hacia las ciencias (King, 2012; Últay & Calik, 2012), a la vez que posibilita que aprendan de forma más significativa y relevante ideas científicas (Marchán-Carvajal & Sanmartí, 2015).

Los problemas reales en contextos cotidianos tienen gran interés en la enseñanza de las ciencias y encajan muy bien con el enfoque Ciencia Tecnología y Sociedad (CTS). Esto lleva a la necesidad de identificar en dicho contexto situaciones problemáticas relevantes para la ciudadanía que puedan ser llevadas al aula (Perrenoud, 2012) y cuyo tratamiento didáctico implique el desarrollo de conocimientos, capacidades, actitudes y/o valores (recogidos en el currículo) que permitan la resolución de problemas, teniendo en cuenta no solo los aspectos relacionados con la Ciencia, sino también con la Tecnología y la Sociedad.

Un ejemplo de este tipo de problemas que implica un fenómeno científico es el deterioro de los dientes dentro del contexto de la salud. Este problema preocupa a los adolescentes por razones estéticas (Ramos, 2010) porque el 60% de los jóvenes españoles en la etapa de Educación Secundaria Obligatoria (E.S.O.) (12-16 años) tienen caries en dientes definitivos (Llodra, 2012). Otro dato de interés se encuentra en la frecuencia del cepillado. Así, el 53% de los jóvenes de 12 años declara cepillarse los dientes más de una vez al día, el 30% una sola vez, y uno de cada seis, con menor frecuencia (Bravo, Casals, Cortés, & Llodra, 2006).

En esta línea, dentro de un Proyecto de Investigación de la Universidad de Málaga, se ha diseñado una secuencia didáctica, basada en competencias, para estudiantes del cuarto curso de E.S.O. (16 años) en torno a la salud e higiene bucodental (Franco-Mariscal, Blanco y España, 2014; Blanco, Franco-Mariscal y España, 2015). La introducción de las competencias en los currículos de la educación obligatoria y, sobre todo, en el programa PISA (OECD, 2014) ha situado de nuevo en el centro de atención la necesidad de tener en cuenta los contextos de la vida diaria en la enseñanza (Sanmartí, 2008), y quizás, como algo más novedoso, en la evaluación (Fensham, 2009). En la enseñanza de las ciencias, la competencia científica juega un papel muy importante. Aunque existe cierta controversia entre diferentes autores sobre cuáles son los componentes de esta competencia, todos coinciden en que las explicaciones son una práctica científica fundamental (McCain, 2015) y la capacidad del alumnado para explicar fenómenos científicamente, incluyendo aquí fenómenos relacionados con la salud (Faría, Friere, Baptista, & Galvão, 2014), debe formar parte de dicha competencia. No obstante, la evaluación del desarrollo de competencias por los estudiantes se muestra compleja (Sanmartí, 2011), al requerir de nuevos instrumentos para llevarla a cabo y nuevas formas de concebir e identificar el progreso del alumnado.

Este trabajo presenta algunos resultados de una investigación destinada a encontrar formas de evaluar la capacidad de explicación de los estudiantes en torno a un problema de la vida diaria como es el de la caries dental.



Contexto formativo

Este estudio de evaluación de la capacidad de explicación de los estudiantes de secundaria se llevó a cabo en el contexto del desarrollo de la una secuencia didáctica titulada *¿Por qué se pican los dientes?* (Franco-Mariscal & Blanco, 2015). Esta secuencia se planteó en 10 sesiones de una hora de duración y aborda los principales aspectos relacionados con el problema de la caries: (a) su identificación a partir del conocimiento de los factores desencadenantes (la placa bacteriana y los alimentos azucarados), (b) su prevención (cepillado de dientes, revisiones periódicas al dentista y consumo moderado de alimentos azucarados), (c) los empastes como medida a tomar si la prevención falla y (d) dar a conocer el problema a la sociedad. La secuencia incluye además un quinto bloque que se trabaja de forma transversal a lo largo de toda la unidad, acerca de la calidad y fiabilidad de las fuentes de Internet que deben consultarse para informarse sobre estas cuestiones.

Cada tarea de la secuencia se presentó a través de un pequeño problema que los estudiantes debían resolver, formulado a través de una pregunta que utilizaba términos coloquiales para el alumnado. Las tareas se diseñaron para permitir el desarrollo de competencias clave en los estudiantes, en particular de las competencias científicas. Para que el lector se pueda hacer una idea del tipo de tareas que resolvió el alumnado para desarrollar la competencia en explicación científica de fenómenos, la Tabla 1 ofrece dos de ellas a modo de ejemplo (Franco-Mariscal y Blanco, 2015).

Tabla 1. Ejemplos de tareas en la secuencia didáctica (adaptado de Franco-Mariscal y Blanco, 2015).

Tarea	Bloque de la secuencia	Objetivo de la tarea
¿Qué factores intervienen en la picadura de los dientes?	Identificación del problema	Los alumnos deben realizar una experiencia de laboratorio para comprobar sus hipótesis acerca de los factores responsables de la aparición de caries. Para ello, deben determinar la masa de un diente, preparar una disolución, observar lo que ocurre durante un día y dar una interpretación adecuada al fenómeno.
¿Qué me pasa en la boca, doctor?	Prevención del problema	El estudiante debe hacer una pequeña dramatización del problema donde un estudiante será el paciente y otro el dentista. El dentista debe explicar al paciente y al resto de la clase, a partir de la descripción de una radiografía, qué le ocurre según allí se observa y cuál es el tratamiento más adecuado. Al describir la radiografía deberá distinguir adecuadamente entre dientes, caries y empaste, ya que presentan diferente color.



Esta secuencia se ha implementado con 47 estudiantes del IES Juan Ramón Jiménez de Málaga (España) de 4º de E.S.O. durante los últimos cuatro cursos consecutivos.

Metodología

Para estudiar la capacidad de explicación de los estudiantes ante el problema CTS presentado, se ha trabajado con el estudio de caso del primer curso, que corresponde a una muestra de 15 alumnos. Esto ha permitido analizar en profundidad toda la producción escrita y oral realizada por ellos. Los instrumentos de recogida de datos fueron el diario del profesor, los cuadernos de trabajo de los estudiantes, una prueba de conocimientos en dos momentos de la intervención (al inicio y final de la secuencia), una exposición oral y grabaciones en vídeo de varias sesiones. Este estudio se centrará en el análisis de dos cuestiones relevantes extraídas de la prueba de conocimientos, que permiten indagar sobre si el estudiante es capaz de explicar el problema adecuadamente.

En una primera fase, se elaboró una propuesta de esquema para la evaluación de la capacidad del alumnado para ofrecer explicaciones sobre fenómenos científicos, que se ejemplifica aquí con el problema de la caries. Dicho esquema consta de cuatro etapas: (1) definición de un referente teórico, (2) explicación deseada del fenómeno en el ámbito escolar, (3) análisis de las respuestas de los estudiantes, y (4) elaboración de una rúbrica que muestre el progreso en las explicaciones en cada una de las dimensiones (Figura 1).

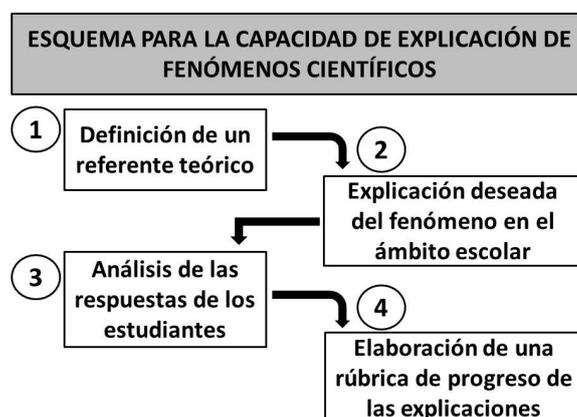


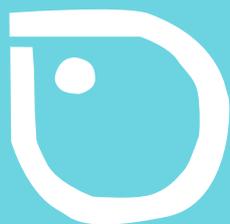
Figura 1. Esquema para la capacidad de explicación de fenómenos científicos.

Etapa 1. Definición de un referente teórico

La primera etapa del esquema tiene en cuenta dos dimensiones para evaluar la capacidad de explicar fenómenos: el contenido de la explicación desde la perspectiva de la naturaleza del fenómeno científico a explicar y la utilización del lenguaje científico con precisión.

Contenido de la explicación desde la perspectiva de la naturaleza del fenómeno científico a explicar

Una forma de ver los conceptos científicos es atendiendo a la naturaleza de las entidades a las que se refieren (Chi, Slotta, & Leeuw, 1994). Según estos autores, en el mundo natural se pueden definir tres



categorías de entidades primarias: “*materia*” (o cosas), “*procesos*” y “*estados mentales*”. Existen, por supuesto, dentro de cada categoría, una gran cantidad de subcategorías relacionadas entre sí. Así, por ejemplo, los “*procesos*” pueden contener eventos, procedimientos, sistemas causa-efecto, etc.; y en la categoría “*materia*” podría distinguirse, en estado natural, artefactos, etc. Por otro lado, los elementos de distintas categorías de entidades tienen diferentes atributos. Por ejemplo, de la “*materia*” se podría decir que tiene color, peso, ocupa espacio, tiene superficie, etc.; de los “*procesos*” podríamos indicar cuándo ocurrieron, cuánto duraron, cuál fue la causa o el propósito, etc.; y de los “*estados mentales*” se podría apuntar que son emociones o sentimientos, intencionales o de voluntad, etc.

El aspecto más relevante en esta clasificación es la naturaleza de las diferencias que se establece entre los miembros de cada categoría. Según Chi et al. (1994), los “*procesos*” difieren en sus propiedades fundamentales (ontológicamente) de la “*materia*”, como los “*estados mentales*” difieren de la “*materia*” y de los “*procesos*”. Las diferencias entre estas categorías pueden ser definidas, de manera operacional, por conjuntos de atributos independientes entre sí. De esta forma, si un atributo se puede aplicar a dos elementos (por ejemplo, hambriento se puede aplicar al hombre y al animal), ello significa que estos elementos pertenecen a la misma categoría (no son ontológicamente diferentes). Dos categorías serán ontológicamente distintas si los atributos de la una no pueden ser aplicados a los elementos de la otra. Así, el “durar una hora” es un atributo de un suceso que no podría ser aplicado a algo material como un animal.

La mayoría de los conceptos científicos se pueden incluir dentro de la categoría de “*materia*” o de “*procesos*”, y dentro de ésta en una subcategoría que Chi et al. (1994) denominan “*procesos sujetos a condiciones*”. Esta definición compleja puede ser aclarada con un ejemplo, como el de la corriente eléctrica. La corriente eléctrica existe sólo cuando las partículas eléctricamente cargadas están en movimiento. Es, por tanto, un proceso que se da en determinadas condiciones. Lo mismo puede decirse de otros conceptos como el calor, la fuerza, la visión, el olor, etc. que pertenecerían a esta misma categoría.

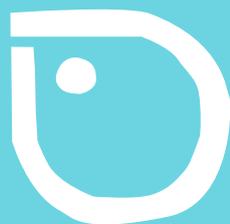
En algunos casos, una palabra puede referirse a la vez a una entidad material o a proceso, como ocurre con el término disolución. Este término puede entenderse como un sistema material con unos atributos (propiedades) determinados, pero también como un proceso por el cual las sustancias se disuelven, y se habla así del proceso de disolución.

En el tema que nos ocupa, la caries bucal es un concepto relativo a un proceso, es decir, es un fenómeno que ocurre en la dentadura en determinadas circunstancias. Es por ello, que para caracterizar un proceso (Chi et al., 1994) sea importante responder a tres cuestiones:

- ¿Qué cosas materiales intervienen? (sistemas),
- ¿Qué ocurre entre ellos? (tipo de interacción), y
- ¿Qué cosas cambian durante el proceso? (tipo de transformación).

Utilización del lenguaje científico con precisión

El uso del lenguaje científico con precisión, exactitud y claridad es fundamental para poder establecer explicaciones y argumentos en la enseñanza de las ciencias. Cada materia posee una terminología propia, y en el caso de la ciencia, la terminología científica además de términos, utiliza



un lenguaje simbólico (Caamaño, 1998).

La importancia y necesidad del uso correcto del lenguaje científico se basa en sus características: universalidad o internacionalidad, precisión y coherencia, y funcionalidad (Riera, 1998). La universalidad se refiere a que el lenguaje científico sirve de vehículo de expresión entre la comunidad científica internacional, mientras que la precisión y coherencia permiten comprender con la mayor exactitud posible el tópico que se está tratando sin que dé lugar a confusiones. La precisión con la que un estudiante emplee el lenguaje científico en una explicación dará idea del conocimiento que posee sobre esa materia. Por último, la funcionalidad permite al docente saber transmitir los conocimientos de ciencia por medio del lenguaje científico, siendo preciso con la información facilitada y dando la oportunidad al estudiante de expresar y explicar lo que piensa a través de los conocimientos aprendidos.

Etapa 2. Explicación deseada del fenómeno en el ámbito escolar

En el caso de la caries bucal, la descripción más completa que se esperaba que los alumnos hubiesen adquirido después de aprender este fenómeno en la secuencia didáctica desarrollada, supone utilizar en las explicaciones aspectos relativos tanto a los factores desencadenantes de la caries como al mecanismo por el que se produce. Se pretende por un lado, que el estudiante sea capaz de dar respuesta a ¿cuáles son los factores desencadenantes de la caries?, ya que implica identificar los sistemas materiales que intervienen en el proceso, y por otro lado, a la cuestión ¿cómo se produce su mecanismo?, que supone describir la interacción entre los sistemas que intervienen y las transformaciones que se producen.

En cuanto a los factores desencadenantes de la aparición de la caries se debería resaltar la naturaleza de la dentadura y de la placa bacteriana, la higiene bucal, la dieta o alimentación y el consumo de drogas, éste último introducido en la secuencia, una vez detectado en un cuestionario de ideas previas que se realizó al inicio de la unidad (Franco-Mariscal & Blanco, 2012). Respecto al mecanismo se debe destacar el agente activo (los ácidos), cómo se produce dicho agente (productos de la reacción química de descomposición de los azúcares por las bacterias), el proceso (reacción química entre los ácidos y el esmalte de los dientes) y sus consecuencias (aparición de caries).

Las Tablas 2 y 3 muestran la descripción más completa que podemos esperar que los/as alumnos/as desarrollen después de aprender este concepto dentro de la secuencia didáctica, para los factores desencadenantes y para el mecanismo, respectivamente.

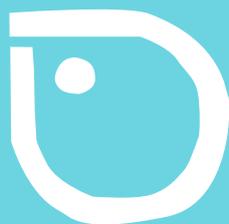


Tabla 2. Descripción esperable de los factores desencadenantes de la aparición de caries.

Factores desencadenantes	Descripción esperable
Naturaleza de la dentadura y de la placa bacteriana	Dentaduras con defectos en la mineralización del esmalte favorecen la aparición de caries (Hernández et al., 2010)
Higiene bucal	No realizar un buen cepillado después de cada comida y no realizar revisiones periódicas al dentista, al menos una vez al año, favorecen la aparición de caries
Dieta o alimentación	El abuso de alimentos ricos en azúcar favorece la aparición de caries
Consumo de drogas	El excesivo consumo de tabaco, alcohol u otras drogas (cocaína, drogas sintéticas) favorece la aparición de caries

Tabla 3. Mecanismo deseado en una explicación de la caries bucal.

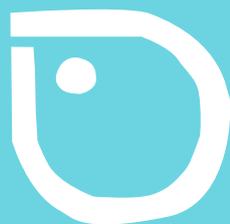
Etapas del mecanismo	Descripción
Agente activo	Ácidos
¿Cómo se produce el agente activo?	Los ácidos se producen como productos de la reacción química de descomposición de los azúcares por parte de las bacterias presentes en la boca
Proceso	Se trata de una reacción química entre los ácidos y el esmalte de los dientes, concretamente la descomposición del esmalte
Consecuencias	Desgaste del diente desde fuera hacia adentro, cambio de color hacia negro, aparición de agujeros, sensación de dolor y frío, rotura y caída del diente

Con respecto a la utilización del lenguaje científico se requiere que los estudiantes utilicen con precisión términos tales como caries, azúcar, ácido, denominación de partes del diente y reacción química.

Etapa 3. Análisis de las respuestas de los estudiantes

Se llevó a cabo un análisis pormenorizado de las respuestas de los estudiantes para cada dimensión, identificando en ellas un posible esquema de progreso. Dicho análisis se realizó en primer lugar de forma individual por parte de los tres miembros del equipo de investigación (los autores de este trabajo) y posteriormente de forma conjunta para dilucidar las categorizaciones de las respuestas en las que aparecían discrepancias.

Se trata pues de identificar en cada una de las explicaciones dadas por los estudiantes, tanto los



factores desencadenantes (Tabla 2) como las etapas del mecanismo de la caries (Tabla 3). La siguiente explicación se utiliza a modo de ejemplo para ilustrar cómo se llevó a cabo este análisis:

Para mí picarse un diente es no cuidarse bien la boca. Esto ocurre por no tener higiene, por no lavarse bien los dientes y comer chuches o dulces. También aparece un agujero. (Alumna 10, pre-test)

En esta explicación se aprecia cómo esta alumna sólo hace referencia a dos factores desencadenantes (la higiene bucal y la dieta o alimentación), olvidando la naturaleza de la dentadura y de la placa bacteriana, y el consumo de drogas. Respecto a las etapas del mecanismo sólo se cita una de ellas, las consecuencias, en este caso la aparición de agujeros, no haciéndose alusión ni al agente activo, cómo se produce ni al proceso que tiene lugar.

Etapas 4. Elaboración de una rúbrica que muestre el progreso en las explicaciones

Tomando en consideración el análisis de las respuestas globales de los estudiantes y la explicación deseada del fenómeno en el ámbito escolar se elabora una rúbrica que ayude a valorar el progreso en las explicaciones de dicho fenómeno. Esta rúbrica se aplica a las respuestas de cada estudiante en los momentos considerados con objeto de identificar las dimensiones en las han progresado sus explicaciones y en el grado en que lo han hecho.

Resultados

Por motivos de espacio, se analizan en este apartado los resultados de dos cuestiones incluidas en la prueba administrada a los estudiantes en dos momentos diferentes de la intervención didáctica, al iniciar y al finalizar la secuencia, a los que denominaremos en lo sucesivo, pre-test y post-test, respectivamente. Las cuestiones que ahora se analizan fueron "¿Qué factores influyen en la aparición de la caries bucal? Explica razonadamente qué papel desempeña cada uno de los factores" y "Explica detalladamente cómo tiene lugar la aparición de la caries bucal". La primera de ellas pretende evaluar la capacidad del estudiante para explicar los factores desencadenantes de la aparición de caries, mientras que la segunda evalúa el mecanismo por el que tiene lugar.

Cuestión 1. ¿Qué factores influyen en la aparición de la caries bucal? Explica razonadamente qué papel desempeña cada uno de los factores.

La Tabla 4 muestra la evolución de las frecuencias (f) y porcentajes (%) de estudiantes en el uso de los factores desencadenantes en sus explicaciones del proceso de la caries antes y después de la intervención.

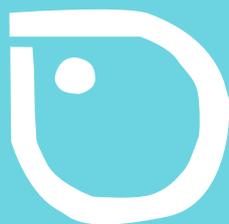


Tabla 4. Factores desencadenantes utilizados en las explicaciones en el pre-test y post-test.

	Tipo de dentadura		Higiene bucal		Dieta		Azúcar		Drogas	
	F	%	f	%	f	%	f	%	f	%
Pre-test	2	13,3	13	86,7	6	40,0	5	33,3	0	0
Post-test	1	6,7	11	73,3	0	0	14	93,3	5	33,3

Como puede observarse en la Tabla 4, antes de iniciar la secuencia, el 87% de las explicaciones dadas por los alumnos se basaba en la higiene bucal como principal factor responsable de la caries, incluyendo además el 73% de ellas aspectos referentes a la alimentación. La mayoría de las explicaciones obvian, salvo excepciones, el efecto del tipo de dentadura y del consumo de drogas como factores desencadenantes de la caries. Un ejemplo generalizado de este tipo de respuestas encontradas antes de desarrollar la secuencia didáctica fue el siguiente:

Picarse un diente significa no tener una buena higiene bucal o comer mucha chucherías y dulces.
(Alumna 06, pre-test)

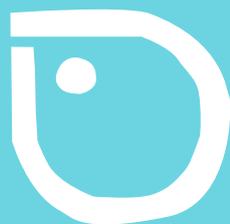
En el pre-test, tampoco se observan diferencias al matizar los alimentos responsables de la caries, encontrándose frecuencias similares en las respuestas de los alumnos que distinguen entre alimentos azucarados de los no azucarados.

Tras la implementación de la secuencia, cabe destacar dos aspectos que muestran una evolución importante en las explicaciones de los estudiantes. El primero de ellos, son las alusiones al consumo de drogas como factor desencadenante de la caries, sumado a la higiene bucal y la alimentación, ya citados en el pre-test. Dichas alusiones se deben probablemente a la importancia concedida a este aspecto durante la secuencia didáctica. El segundo aspecto a destacar es el uso de términos relativos a alimentos azucarados en un 93.3% de las explicaciones, y la ausencia de referencias a la alimentación en general. A modo de ejemplo, una explicación dada en el pos-test fue:

Los factores que influyen en la aparición de la caries bucal son la higiene bucal, el consumo de muchos azúcares y el consumo de drogas.

- *Higiene bucal: Es importante lavarse los dientes después de cada comida para eliminar los restos de comida.*
- *Dieta o alimentación: Si se consumen muchos azúcares la aparición de caries será mucho más probable.*
- *El consumo de drogas, como tabaco, alcohol, cocaína, favorecen la aparición de caries y daños en los dientes.* (Alumno 02, pos-test)

Por último, cabe destacar que sólo un estudiante hizo referencia a la naturaleza de la dentadura en la explicación del pos-test, matizando de esta forma la fórmula de la hidroxiapatita, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{OH}$, el principal componente estructural del diente:



"Si nos faltan algunos de estos componentes (calcio, fósforo, oxígeno, hidrógeno) los dientes se pican con más facilidad" (Alumna 08, post-test).

Cuestión 2. Explica detalladamente cómo tiene lugar la aparición de la caries bucal

Esta segunda cuestión indagaba acerca del mecanismo por el que tiene lugar la aparición de la caries. En este caso, las respuestas de los estudiantes se analizaron atendiendo a los cuatro aspectos importantes identificados (agente activo, cómo se produce el agente activo, proceso y consecuencias) (Tabla 3), que componen la explicación deseada del mecanismo por el que se produce la caries. Cada aspecto se evaluó con tres categorías en función del uso que el estudiante hacía de cada uno de ellos respecto de la explicación deseada: adecuado, parcial o con errores conceptuales (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de las explicaciones de los estudiantes sobre el mecanismo de la caries antes y después de la intervención.

	Pre-test								Post-test							
	Agente activo		Cómo se produce agente		Proceso		Conse - cuencias		Agente activo		Cómo se produce agente		Proceso		Conse - cuencias	
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
Uso adecuado	0	0	0	0	1	6,7	7	46,7	5	33,3	0	0	2	13,3	12	80,0
Uso parcial	0	0	0	0	0	0	2	13,3	1	6,7	8	53,3	3	20,0	0	0
Con errores	4	26,7	0	0	2	13,3	0	0	7	46,7	6	40,0	6	40,0	1	6,7

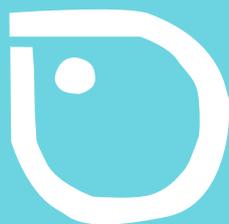
Como se puede observar en la Tabla 5, antes de la enseñanza, los estudiantes en sus explicaciones no fueron capaces de relacionar los cuatro aspectos para indicar adecuadamente el mecanismo por el que se produce la caries. De esta forma, en el pre-test, no se hace referencia en ningún caso a cómo se produce el agente activo, y aquellos pocos alumnos que lo citan lo hacen con errores conceptuales importantes:

La aparición de la caries tiene lugar por no tener buena higiene bucal o comer muchas chucherías y dulces. Son microbios que atacan a tus dientes y si no te los lavas bien no los eliminan. (Alumna 06, pre-test)

Asimismo, la reacción química como proceso que tiene lugar también se explica con errores conceptuales, encontrándose que únicamente las consecuencias que se producen tras el proceso son descritas acertadamente o de manera parcial.

Empieza a doler mucho, se desgasta el diente y coge un color negro. (Alumno 02, pre-test)

Picarse un diente significa que se te hace como un hueco en la muela, es decir, un boquete. Muchas veces llega al nervio y eso duele mucho. (Alumna 12, pre-test)



Los pocos estudiantes que aludieron a algún aspecto del mecanismo se referían a microbios, microorganismos o bacterias como agentes activos, que causan una infección, como muestran estas citas textuales extraídas del pre-test:

Son microbios que atacan a tus dientes y si no te los lavas bien no los eliminan. (Alumna 06, pre-test)

Es una bacteria que hace desgastar la muela. (Alumna 12, pre-test)

Es como una infección que va haciendo un boquete en el diente que puede llegar hasta el nervio. (Alumna 08, pre-test)

Unos seres vivos microscópicos se alimentan con una sustancia de los dientes. (Alumno 14, pre-test)

Por último, algunos/as alumnos/as tampoco fueron capaces de citar consecuencias producidas en el diente, utilizando explicaciones parciales con expresiones del tipo "te empieza a doler la boca" (alumno 04, pre-test) o "el diente se estropea" (alumno 05, pre-test).

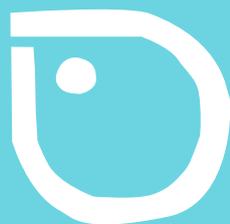
La Tabla 5 muestra, en líneas generales, que después de la enseñanza los estudiantes evolucionaron en sus explicaciones, aunque persisten los errores conceptuales del pre-test y aparecen otros nuevos. El análisis de las producciones del alumnado muestra diferentes mecanismos para explicar la caries bucal, aunque ninguno de ellos es capaz de explicar los cuatro aspectos de manera adecuada. A continuación se muestran varios ejemplos.

La siguiente explicación del mecanismo que tiene lugar, dada en el post-test, se considera bastante adecuada, aunque aún posee algunos errores conceptuales:

Las caries se producen por los azúcares que entran en contacto con las bacterias que hay en la boca; esto hace que los azúcares se descompongan y se produzcan ácidos; lo que hace que el diente se pique debido a ese ácido. La picadura del diente se produce en el esmalte, la dentina y en el canal radicular. Cuando la picadura es de grado mayor ocupa parte del nervio y eso causa mucho dolor, ya que cuando llega a ese extremo es que esa bacteria ha traspasado el hueso.

Para evitar la aparición de caries hay que lavarse los dientes después de cada comida y acudir al menos una vez al año al dentista. Si acudes al dentista y tienes alguna muela picada te pondrá un empaste. (Alumna 12, post-test)

De la explicación anterior, se puede observar que esta alumna conocía que el agente activo son los ácidos y que se producen como productos de descomposición de los azúcares por las bacterias, aunque no utiliza en ningún momento el término de reacción química. Asimismo, a pesar de conocer que el proceso tiene lugar entre los ácidos y el esmalte de los dientes, tampoco asoció este fenómeno con una reacción química. Se cita también de forma adecuada el desgaste del diente desde fuera hacia dentro como una consecuencia, aunque se acaba la explicación con un error importante, al indicar que en ese momento la bacteria traspasa el hueso, lo que refuerza el hecho de que esta alumna desconoce qué se está produciendo una reacción química. La explicación concluye con dos referencias a la prevención del problema, el cepillado de los dientes y las revisiones periódicas al dentista, olvidando el consumo moderado de alimentos azucarados en la dieta como tercer factor.



Otra explicación menos elaborada del mecanismo fue la siguiente:

Los factores que producen la caries son los ácidos de la saliva y las bacterias. Tiene lugar al mezclar cualquier alimento (en exceso) con saliva y no lavarse los dientes. La caries es la mezcla de azúcares y saliva, que juntos manchan el diente y pueden llegar a hacer un agujero si no se hace algo antes. Para arreglar la caries debes ir al dentista y te pondrá un empaste. (Alumna 06, post-test)

Esta alumna cree erróneamente que los agentes activos son los ácidos de la saliva y las bacterias. Asimismo piensa que los ácidos los contiene la saliva. En este caso, el proceso se entiende como mezcla en lugar de como reacción química ("la caries es la mezcla de azúcares y saliva"). Por último, se citan algunas consecuencias erróneas como "la mezcla de azúcares y saliva manchan el diente y pueden llegar a hacer agujeros".

Se analizó también la evolución del uso del lenguaje científico antes y después de la intervención, detectándose cambios importantes. El primer de ellos tiene que ver con la evolución del término cotidiano "picadura de los dientes" al correspondiente en el lenguaje científico ("caries"). Así, en el pre-test el 93,3% de los estudiantes utilizaron en sus explicaciones "picadura de dientes" y sólo un 6,7% caries. Estos porcentajes se invierten en el post-test, donde el 80% de las explicaciones emplearon "caries", y un 20% "picadura de dientes". El segundo cambio se relaciona con la evolución del uso del término "diente", mayoritario en el pre-test, hacia términos científicos más específicos relacionados con partes del diente como esmalte, dentina, pulpa, encía, canal radicular, membrana, hueso mandibular o hueso maxilar. El 53,3% de las explicaciones del post-test utilizaron alguno de dichos términos. Un tercer aspecto a destacar consiste en el uso del término "ácido" para referirse a agente activo, ausente en las explicaciones iniciales, y que emplearon el 60% de los estudiantes tras la intervención. Por último, el término reacción química, también ausente en el pre-test, lo empleó un 6,7% de los estudiantes tras la implementación de la secuencia, un porcentaje que se considera bajo.

A partir de este análisis se ha elaborado una rúbrica de cuatro niveles (Tabla 6) para cada una de las dimensiones estudiadas: factores desencadenantes, descripción del mecanismo y precisión en el uso del lenguaje científico. El nivel 4 incluye las explicaciones deseables desde el punto de vista científico.

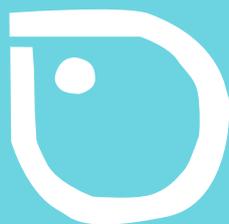
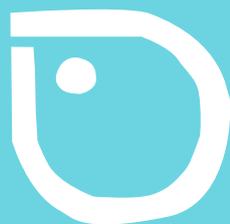


Tabla 6. Rúbrica de progreso en las explicaciones de la caries en cada dimensión.

Dimensiones del contenido de la explicación	Niveles			
	1	2	3	4
Factores desencadenantes	Se refiere sólo a la influencia de la higiene bucal	Se refiere sólo a la influencia de la higiene bucal y de alimentos/dieta en general	Considera tanto la influencia de la higiene bucal como los azúcares de los alimentos	Considera la higiene bucal, la dieta, las características de la dentadura y el consumo de drogas
Descripción del mecanismo	No es capaz de describir ninguna de las etapas del mecanismo por el que se produce la caries o solo se mencionan las consecuencias que tienen lugar (cambios de color, formación de hueco, sensación de dolor)	Es causada por la acción conjunta de azúcar y saliva que afectan directamente a los dientes	Es causada por seres vivos microscópicos (microbios, bacterias...) que afectan directamente a los dientes	Se trata de una reacción química entre los ácidos y el esmalte de los dientes. Estos ácidos son productos de la reacción química de descomposición de los azúcares por parte de las bacterias presentes en la boca
Precisión en el uso del lenguaje científico	Se utilizan términos cotidianos y no se emplean términos científicos	Se utiliza el término caries	Se utiliza el término caries y el término ácido para referirse al agente activo	Se utiliza el término reacción química de forma precisa (entre los ácidos y el esmalte de los diente)

Finalmente indicar, que en una segunda fase se ha aplicado el esquema elaborado para evaluar las respuestas de cada uno de los estudiantes de la muestra antes y después de la intervención.



Consideraciones finales

El análisis de las respuestas evidencia algunos avances en su capacidad para explicar por qué se producen las caries, por ejemplo, el reconocimiento del azúcar como factor importante de la dieta. Los alumnos mostraron dificultades en el pre-test para relacionar los aspectos del mecanismo por el que se produce la caries. Asimismo no se hizo referencia en ningún caso a cómo se produce el agente activo (los ácidos), y aquellos alumnos que lo citaron lo hicieron con errores importantes. Después de la enseñanza los alumnos evolucionaron notablemente en su capacidad de explicación del mecanismo, aunque persistieron los errores iniciales y aparecieron otros nuevos.

Estos resultados revelan, de forma similar al trabajo de Faría et al. (2014), que los estudiantes presentan muchas dificultades para realizar explicaciones sobre fenómenos relacionados con la salud basadas en razonamientos claros y lógicos y para movilizar conocimientos científicos provenientes de diferentes ámbitos científicos. Como indican estos autores, es necesario reconceptualizar el papel de la educación para la salud en la enseñanza de las ciencias. Es importante que los estudiantes usen conocimientos científicos provenientes de diferentes dominios con la finalidad de dar sentido a problemas relacionados con la salud. Esto facilitaría la comprensión y apropiación del conocimiento científico y su transferencia, como aspectos fundamentales para promover una ciudadanía activa e informada (Faría et al., 2014).

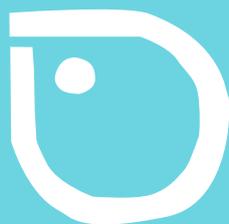
El esquema presentado para la evaluación de la capacidad de realizar explicaciones de fenómenos científicos por parte de los alumnos quiere ser una aportación a la evaluación de competencias científicas que no solo sirva para investigar sobre las explicaciones científicas, sino que también aporte instrumentos de evaluación al profesorado como la rúbrica diseñada. No obstante, hay que hacer constar que su elaboración se ha llevado a cabo en una muestra pequeña de estudiantes como estudio de caso. Para mejorar su validez, será necesario utilizarlas con muestras más amplias, trabajo que se está llevando a cabo actualmente. Finalmente, este esquema, con las concreciones oportunas, puede ser de utilidad para las explicaciones de otros fenómenos científicos partiendo de las dimensiones que lo conforman.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de I+D de Excelencia «Desarrollo y evaluación de competencias científicas mediante enfoques de enseñanza en contexto y de modelización. Estudios de caso» (EDU2013-41952-P) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad en la convocatoria de 2013.

Referencias

- Blanco, A., Franco-Mariscal, A. J., & España, E. (2015). A Competence-Based Approach to the Design of a Teaching Sequence about Oral and Dental Health and Hygiene: A Case Study. *Journal of Biological Education*, 50(2), 196-206. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00219266.2015.1058838>
- Bravo, M., Casals, E., Cortés, F., & Llodra, J. (2006). Encuesta de Salud Oral en España 2005. *RCOE, Revista del Ilustre Consejo General de Colegios de Odontólogos y Estomatólogos de España*, 11(4), 409-456.
- Caamaño, A. (1998). Problemas en el aprendizaje de la terminología científica. *Alambique, Didáctica*



de las Ciencias Experimentales, 17, 5-10.

Caamaño, A. (2011). Enseñar química mediante la contextualización, la indagación y la modelización. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 69, 21-34.

Chi, M., Slotta, J., & Leeuw, N. (1994). From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction, Journal of the European Association for Research on Learning and Instruction*, 4, 27-43.

De Jong, O. (2006). Making chemistry meaningful: conditions for successful context-based teaching. *Educación Química*, 17(extra), 215-221.

Faría, C., Freire, S., Baptista, M., & Galvão, C. (2014). The Construction of a Reasoned Explanation of a Health Phenomenon: An analysis of competencies mobilized. *International Journal of Science Education*, 36(9), 1476-1490.

Fensham, P. (2009). Real world contexts in PISA science: implications for context-based science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 884-896.

Franco-Mariscal, A. J., & Blanco, A. (2012). Concepciones previas de estudiantes de 3º de E.S.O. sobre la salud bucal y el deterioro de los dientes. In J. M. Domínguez (Ed.), *XXV Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 1085-1092). Santiago Compostela: Universidad Santiago.

Franco-Mariscal, A. J., & Blanco, A. (2015). ¿Por qué se pican los dientes? Una propuesta para el 2º ciclo de la ESO sobre la salud e higiene bucodental. In A. Blanco, & T. Lupión (Eds.), *La competencia científica en las aulas. Nueve propuestas didácticas* (pp. 269-300). Santiago de Compostela: Andavira.

Franco-Mariscal, A. J., Blanco, A., & España, E. (2014). El desarrollo de la competencia científica en una unidad didáctica sobre la salud bucodental. Diseño y análisis de tareas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 649-667.

Hernández, A., Cuesta, L., Castañeda, P., & Barbería, E. (2010). Defectos en la mineralización del esmalte dentario: ¿podemos saber su origen?. *Dental Practice Report*, Nov-Dic, 31-37.

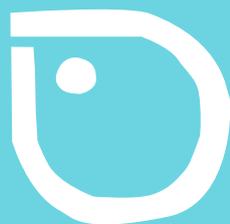
King, D. (2012). New perspectives on context-based chemistry education: Using a dialectical sociocultural approach to view teaching and learning. *Studies in Science Education*, 48(1), 51-87.

Llodra, J. C. (2012). Encuesta de Salud Oral en España 2010. *RCOE, Revista del Ilustre Consejo General de Colegios de Odontólogos y Estomatólogos de España*, 17(1), 13-46.

Marchán-Carvajal, I., & Sanmartí, N. (2015). Criterios para el diseño de unidades didácticas contextualizadas: aplicación al aprendizaje de un modelo teórico para la estructura atómica. *Educación Química*, 26(4), 267-274. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2015.06.001>

McCain, K. (2015). Explanation and the nature of scientific knowledge. *Science & Education*, 24, 827-854.

MEC, Ministerio de Educación y Ciencia (2015). *Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de*



la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato (BOE núm. 25, de 29 de enero de 2015, pp. 6986-7003).

OECD (2013). *PISA 2015. Draft science framework*. Consultado en 22 marzo, 2016, en <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf>

OECD (2014). *PISA 2015 Draft Framework*. Brussels: OCDE. Consultado en <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisa2015draftframeworks.htm>

Perrenoud, P. (2012). *Cuando la escuela pretende preparar para la vida ¿Desarrollar competencias o enseñar otros saberes?* [School as Preparation for Life: Developing Competences or Teaching Other Kinds of Knowledge?]. Barcelona: Graó.

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

Riera, C. (1998). Terminología científica. Generalidades e influencia del inglés. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17, 11-19.

Sanmartí, N. (2008). Què comporta desenvolupar la competència científica? *Guix*, 344, 11-16.

Sanmartí, N. (2011). Evaluar para aprender, evaluar para calificar. In A. Caamaño (Coord.), *Didáctica de la Física y la Química* (pp. 193-211). Barcelona: Graó.

Ültay, N., & Calik, M. (2012). A thematic review of studies into the effectiveness of context-based chemistry curricula. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 686-701.