



Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria

Context, inquiry and modelling to move lower secondary students' explanations

M.^a Rut Jiménez-Liso, Luis Delgado, Francisco J. Castillo-Hernández
Grupo Sensociencia. CEIMAR-Universidad de Almería.
mrjimene@ual.es, ldmcorre@gmail.com, fch123@ual.es

Isabel Baños-González
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia.
ibbg1@um.es

RESUMEN • Conectamos investigación y práctica docente con el análisis del diseño de una secuencia que integra la contextualización, indagación, modelización y la evaluación de su efectividad desde las ideas que el alumnado moviliza. La metodología cualitativo-interpretativa utilizada permite analizar la práctica docente y los resultados muestran que la contextualización en un problema cercano (muerte de peces y algas en la playa) genera en los estudiantes diversidad de explicaciones sobre las posibles causas y coherencia en relación a las pruebas que necesitarían para demostrarlas o refutarlas. La búsqueda de pruebas para detectar la auténtica causa de la muerte, en este caso por deshidratación, ofrece conocimiento descriptivo que condiciona sus explicaciones, necesarias para que el modelo de simulación diseñado de ósmosis tenga sentido para el alumnado y les sea de utilidad para transferir a otros contextos.

PALABRAS CLAVE: Contextualización; Indagación; Modelización; Simulación; Explicaciones del alumnado.

ABSTRACT • In this work we connect research and teaching practice from the analysis of the design of a sequence that integrates contextualization, inquiry, modelling and the evaluation of its effectiveness from the students' ideas it mobilizes. The qualitative-interpretative methodology allows the analysis of the teaching practice and the results show that the contextualization in a nearby problem (death of fish and algae in the beach) generates diversity of explanations among the students about the possible causes and coherence in what tests they would need to prove or refute them. The search for evidence to detect the real cause of death, in this case by dehydration, offers descriptive knowledge that conditions their explanations, necessary for the designed simulation model for osmosis to make sense for students and be useful for transferring to other contexts.

KEYWORDS: Context; Inquiry; Modelling; Simulation; Students' explanations.

Recepción: julio 2019 • Aceptación: abril 2020 • Publicación: marzo 2021

Jiménez-Liso, M.^a R., Delgado, L., Castillo-Hernández, F. J. y Baños-González, I. (2021). Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 5-25.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3032>

INTRODUCCIÓN

La «consolidación» de la didáctica de las ciencias experimentales como disciplina provocó un cambio de mentalidad en cuanto a las formas y al contenido en las investigaciones. De una inicial y atórica etapa tecnológica sobre problemas y recomendaciones para el aula, se pasó al desarrollo de investigaciones centradas en concepciones alternativas (de alumnado y docentes), su presencia en recursos, en su mayoría libros de texto, o en el conocimiento profesional docente; tópicos que fueron consolidando y contribuyendo a la expansión del área (Jiménez-Pérez, 2010).

Muchos docentes no se acercan a la investigación como fuente de información para la preparación de sus clases (Blanco-López, Martínez-Peña y Jiménez-Liso, 2018), puesto que consideran que no les aporta nada útil o relevante para sus clases, generándose la consabida brecha (Osborne y Dillon, 2008) entre investigación y práctica.

Difícilmente la investigación versará sobre el análisis de la práctica docente teniendo en cuenta las serias dificultades de publicar investigaciones sobre secuencias de enseñanza-aprendizaje que señalan Guisasaola, Zuza, Ametller y Gutierrez (2017), en concreto, las relativas a su escasa generalización (contextos particulares de aplicación) o a los obstáculos por no compartir diseño ni marcos teóricos comunes. Esto se agrava cuando las publicaciones rozan la *pseudodidáctica* (término propio), enmascarando de investigación didáctica (excesivamente cuantitativas) supuestas propuestas no presentadas en los artículos (ni como material complementario, Oliva, 2020), apenas fundamentadas ni enmarcadas teóricamente, con poca efectividad probada y, por tanto, con nada de utilidad y relevancia para los docentes.

A pesar de lo anterior, renunciamos a la idea de que investigación y práctica docente sean irreconciliables y, para ello, en este artículo queremos contribuir a conectarlas de dos maneras: en primer lugar, a través del análisis del diseño de una secuencia de actividades, fundamentada, por un lado, en el enfoque de enseñanza por indagación; y, por otro, en el uso de simulaciones (modelización instrumental, según el término empleado por Oliva, 2019). En segundo lugar, a través de la evaluación de su efectividad para movilizar las ideas iniciales del alumnado y ayudar a construir un modelo explicativo y predictivo.

La conjunción de estos dos elementos (diseño y evaluación de la efectividad) da respuesta a la necesidad de operativizar los diseños y de contribuir a la escasez de estudios que evalúen la efectividad de propuestas concretas de indagación (en palabras de Aguilera-Morales et al., 2018).

En primer lugar, la toma de decisiones realizada en el proceso de diseño de la secuencia va en las líneas de los informes de diseño (*design briefs* de Leach, Ametller y Scott, 2010) y de la distinción entre diseño-artesanía e invención-innovación (*design vs. craft, invention vs. innovation* de Mor, Craft y Hernández-Leo, 2013). Ambas líneas inciden en que, además de diseñar una secuencia nueva (artefacto nuevo), esta debe ser innovadora, es decir, conectada con los resultados de investigación y de buena calidad (en términos de efectividad), para que reconfigure una nueva dirección a través de un metarreflexión sobre el diseño.

Al hacer explícita esta toma de decisiones contribuimos a dotar a la investigación de relevancia y utilidad para los docentes en su práctica. Por ejemplo, cómo de una pregunta inicial incorporamos la necesidad de buscar pruebas ya sean empíricas, hipotéticas, obtenidas *in situ* o suministradas, de adaptar un modelo explicativo, de buscar o no simulaciones o, incluso, de si profundizar o no en el proceso de argumentación (metarreflexión sobre el diseño, Jiménez-Liso, Gómez-Macario, Garrido Espeja, Martínez-Chico y López-Gay, 2020). De manera que docentes e investigadores puedan utilizarlo para diseñar otras secuencias con enfoque similar o tengan pautas que los animen a implementar una determinada secuencia en contextos variados.

En segundo lugar, además de la importancia de *caracterizar el escenario didáctico* de esta investigación (en palabras de Oliva, 2020), la evaluación de la efectividad de nuestra práctica docente fundamentada (Romero-Ariza, 2014), con un marco teórico y una metodología explícitos y coherentes, permite comprender lo que sucede en el aula cuando se desarrollan prácticas científicas (Kelly, 2008).

En concreto, este artículo tiene como primer objetivo de investigación uno relacionado con el diseño: transformar un problema ambiental («escasez» de agua) y su posible solución (desaladoras) en una secuencia de actividades de indagación y modelización. Para ello, pondremos el foco en el impacto sobre una zona de una playa (muerte por deshidratación de peces y algas) con el que promover la expresión de ideas y la búsqueda de pruebas y que integre procesos de modelización, en este caso, a través del uso de una simulación de ósmosis para construir explicaciones al fenómeno ocurrido.

En cuanto a los objetivos de investigación vinculados a la evaluación de la efectividad, en primer lugar, queremos describir las ideas personales del alumnado movilizadas como efecto de la contextualización (Lupión-Cobos, López-Castilla y Blanco-López, 2017). En segundo lugar, pretendemos analizar la generación de explicaciones a través de la construcción de conocimiento descriptivo mediante la indagación. Y, por último, pero no menos importante, estudiamos detectar la transferencia del modelo construido (ósmosis) a otros contextos de aplicación (muerte de peces por hiperhidratación en zonas árticas, efectos para la salud humana de beber agua destilada o salada, etc.).

MARCO TEÓRICO

Antecedentes

La literatura didáctica cuenta con una larga tradición de investigaciones sobre las concepciones o explicaciones alternativas de los fenómenos que ocurren a nuestro alrededor y que vamos construyendo espontáneamente o por refuerzo de la enseñanza transmisiva (Martínez-Torregrosa, Doménech y Verdú-Carbonell, 1999) y memorística (Odom y Barrow, 1995). En nuestro caso particular, es numerosa la literatura didáctica sobre las dificultades que el alumnado de secundaria –y universitarios– presentan sobre cuál es la utilidad de la ósmosis (Rundgren y Tibell, 2010), qué es el equilibrio osmótico (Tekkaya, 2003); o con el movimiento de las partículas o moléculas en los procesos de difusión y ósmosis (Meir, Perry, Stal, Maruca y Klopfer, 2005); cuál es el papel que tiene la ósmosis en las células vegetales (Friedler, Amir y Tamir, 1987; Tekkaya, 2003) o en el funcionamiento de la bicapa lipídica (Hasni, Roy y Dumais, 2016), y cuál es la función que tienen el solvente y el soluto en estos procesos; confusión entre cantidad y concentración y su relación con la ósmosis, etc.

Tras una exhaustiva revisión de las dificultades de aprendizaje de la ósmosis y su importancia como requisito previo para comprender fenómenos biológicos (Hasni et al., 2016), comprobamos que la mayoría de los estudios suelen posicionarse desde el contenido académico de la ósmosis, más que en la búsqueda de las ideas personales desde las que parte el alumnado, o de las explicaciones posibles que suelen dar a fenómenos observables. Este posicionamiento desde lo académico genera que, como indican Malińska, Rybska, Sobieszczuk-Nowicka y Adamiec (2016) y Torkar, Veldin, Glažar y Podlesek (2018), los estudiantes muestren confusión entre el uso vernáculo y científico de términos como presión, concentración y cantidad; una mala interpretación de conceptos técnicos como solución, semipermeabilidad y movimiento molecular y de red; o genere insuficientes habilidades en términos de razonamiento formal, visualización y pensamiento del alumnado a nivel molecular, que podrían condicionar la comprensión de la ósmosis (Odom y Barrow, 1995). Esta última dificultad sobre el nivel microscópico también ha sido descrita por Cortés-Gracia (2004) en sus estudios sobre las ideas de permeabilidad.

A pesar del gran número de estudios, algunos reseñados en el párrafo anterior, la mayoría son diagnósticos sobre dificultades de comprensión de la ósmosis. Así, Tekkaya (2003) señala que existen pocos trabajos sobre cómo mejorar su comprensión (Christianson y Fisher, 1999; Marek, Cowan y Cavallo, 1994) y que los autores suelen centrarse en dar recomendaciones muy amplias, como realizar un experimento sin plantear cuál (Marek et al., 1994); que el enfoque de enseñanza sea constructivista (Christianson y Fisher, 1999) o de cambio conceptual con mapa de conceptos (Tekkaya, 2003); que los estudiantes visualicen y piensen acerca de los procesos químicos a nivel molecular (Oztas, 2014); o en señalar más obstáculos, como que los estudiantes no están familiarizados con las representaciones de partículas, pudiendo llegar a malinterpretar estos dibujos (Sanger, Brecheisen y Hynek, 2001).

Las dificultades de comprensión mencionadas harían imposible abordarlo hasta bachillerato o algún curso universitario, lo que dejaría a la mayoría de la población (escolar o no) sin la capacidad de explicación de ciertos fenómenos cotidianos, como por qué sería perjudicial para las personas tanto beber agua destilada como agua del mar. Si, por el contrario, ponemos la finalidad de la educación científica en ser capaces de explicar los fenómenos cercanos como los descritos, no debemos considerar como erróneas las posibles explicaciones iniciales que construimos y expresamos, sino que formarán parte de una progresión de modelos científicos incompletos, aproximados, inexactos o simples hacia modelos que se irán complejizando conforme avance su poder descriptivo, explicativo y predictivo (Oliva, 2019).

Fundamentos para el diseño de la secuencia: contexto, indagación y modelos

La contextualización en torno a fenómenos observables, cotidianos, próximos al alumnado, se hace imprescindible para movilizar ideas menos académicas y más próximas a sus explicaciones sobre el mundo que les rodea (Lupión-Cobos et al., 2017; Moraga, Espinet y Merino, 2019).

Como señalan Martínez-Torregrosa et al. (1999), resulta imprescindible promover un cambio en las formas de generar y validar conocimiento, diferentes de las del sentido común, hacia prácticas científicas propias de la indagación, modelización y argumentación. Por ello, para facilitar la construcción válida de conocimiento, en concreto, un *conocimiento descriptivo sólido* con el que construir un modelo adaptado de ósmosis, nos enmarcamos en las prácticas científicas de indagación como enfoque de enseñanza y de modelización en su dimensión instrumental, es decir, como proceso de construcción de modelos a través del manejo de simulaciones (Oliva, 2019). Las simulaciones comportan beneficios en el proceso de indagación y modelización pues su dinamismo permite que el alumnado formule cuestiones, hipótesis y, sobre todo, revise sus ideas (López-Simó, Grimalt-Álvaro y Couso, 2018). De esta manera, al ir más allá de la mera representación estática de sistemas o fenómenos, las simulaciones ayudan a los estudiantes en la construcción de modelos (Oliva, 2019). En la gestión del aula, la inmediatez de la simulación mejora las habilidades necesarias para predecir los resultados de experimentos (Mckagan, Perkins y Wieman, 2009) o los modelos explicativos posteriores. En lo referente al dominio afectivo, los resultados muestran que las simulaciones mejoran la satisfacción y la participación del alumnado, además de su percepción positiva en cuanto al aprendizaje (Durán, Gallardo, Toral, Martínez y Barrero, 2007).

De todas las acepciones posibles de indagación como enfoque de enseñanza (Aguilera-Morales et al., 2018; Ferrés Gurt, 2017; National Research Council, 2000; Romero-Ariza, 2017), consideramos necesario concretar qué fases la componen. Hemos resumido las siete fases del ciclo de indagación en la figura 1 (basado en el ciclo de modelización de Couso y Garrido-Espeja, 2017), señalando con ciclos concéntricos los objetivos didácticos (óvalos en blanco) de cada una de las fases de la secuencia instruccional (cajas naranjas que pueden reiterarse, de ahí las flechas interiores) e indicando cuáles podrían ser los comienzos de las actividades a modo de ejemplo (cajas blancas con ciclo punteado).

Este ciclo se puede resumir en dos fases imprescindibles para nuestro diseño de secuencias: la expresión de ideas personales a través de preguntas-problemas-situaciones que «enganchen» y movilicen las explicaciones personales (no tienen por qué ser similares a las académicas); y la búsqueda de pruebas con las que construir conocimiento descriptivo que demande la necesidad de los modelos explicativos (Jiménez-Liso, 2020).

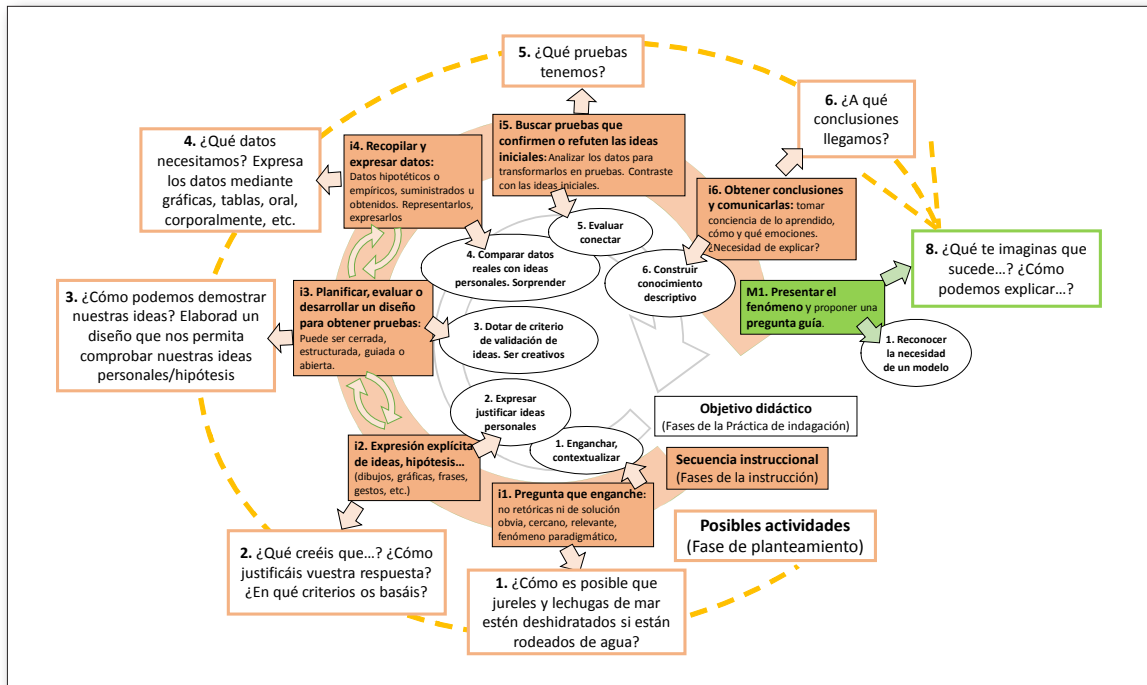


Fig. 1. Adaptado del ciclo de indagación (Jiménez-Liso, 2020) basado en el de modelización de Couso y Garrido-Espeja (2017) que comenzaría en el recuadro verde.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

En este artículo, queremos dar respuesta a una primera pregunta: *¿cómo transformar un problema de impacto ambiental (muerte de peces y algas por deshidratación en la playa) en una secuencia de actividades por indagación con la que desarrollar conocimiento descriptivo que genere la necesidad de construir un modelo de ósmosis?*

Las numerosas dificultades de aprendizaje (y de enseñanza) que presentan los estudiantes de secundaria sobre los procesos de ósmosis, descritos en el apartado anterior, y su carácter academicista, centrado en el contenido que hay que aprender, nos anima a *diseñar una secuencia de indagación*, que comienza con un problema ambiental hipotético (y plausible) contextualizado, con el que movilizar las explicaciones personales y espontáneas de estudiantes de 1.º de ESO, sin enseñanza previa de ósmosis: la muerte masiva de jureles y algas por deshidratación debido a vertidos de salmuera. Desde estas explicaciones expresadas queremos ampliar el conocimiento descriptivo basándonos en pruebas (hiperhidratación, deshidratación y equilibrio, dependiendo del medio acuoso). Esto puede generar la necesidad de buscar explicaciones más sofisticadas y, para ello, utilizaremos una simulación del modelo de ósmosis que permita la transferencia del conocimiento a otros contextos (peces muertos por hiperhidratación en Islandia por un súbito deshielo de los icebergs).

Hemos elegido el enfoque de enseñanza de indagación con modelización instrumental siguiendo el ciclo anteriormente descrito (figura 1) con el fin de ofrecer un marco común de diseño que facilite su transferencia a otros contextos de aplicación, respondiendo así al problema que supone la generalización en las investigaciones sobre diseño de secuencias (Guisasola et al., 2017).

Con el objeto de evaluar la efectividad de la secuencia de actividades diseñada, nos planteamos la segunda pregunta: ¿en qué medida *la secuencia diseñada moviliza las ideas personales del alumnado sobre el fenómeno (muerte de peces en el mar por deshidratación)? ¿Cómo puede ayudar el modelo de ósmosis a explicarlo? ¿Es útil este conocimiento para que el alumnado plantee o sea capaz de explicar fenómenos parecidos (muerte de peces en el mar Ártico por hiperhidratación)?*

Tras la implementación de la secuencia en un contexto real (tres grupos naturales de 1.º de ESO del IES El Alquíán), hemos evaluado su efectividad en función de:

- cómo ayuda el conocimiento descriptivo necesario a construir el modelo de ósmosis,
- cómo este modelo sirve para que el alumnado explique el problema inicial (muerte por deshidratación de peces y algas), es decir, si moviliza la expresión de ideas personales del alumnado relacionadas con la ósmosis, y
- cómo este conocimiento le es útil al alumnado para ser capaz de explicar fenómenos similares (muerte por hiperhidratación de peces en Islandia) o es capaz de plantearlos espontáneamente (consecuencias de beber agua de mar o agua destilada).

METODOLOGÍA

La metodología utilizada tanto por su finalidad como por el carácter de los datos se enmarca en el paradigma cualitativo-interpretativo (Vázquez-Bernal, 2005) que nos permite mirar la práctica docente (diseño e implementación de una secuencia de actividades), desde el marco de indagación y modelización para comprender qué sucede en el aula cuando estas se desarrollan.

A continuación, describiremos el proceso metodológico para cada pregunta de investigación.

1.^a pregunta (diseño): Análisis del diseño de la secuencia de actividades

Tras la anterior revisión de antecedentes a modo de dificultades de aprendizaje y concepciones alternativas sobre ósmosis, hemos diseñado una secuencia de actividades guiándonos por el enfoque de enseñanza por indagación (Jiménez-Liso, Avraamidou, Martínez-Chico y López-Gay, 2019), cuyos borradores (*design briefs*, Leach et al., 2010) han sido analizados en función de la toma de decisiones para favorecer su transferencia a otros diseños y contextos.

En esta fase hemos analizado los borradores del diseño de la secuencia y la reorganización de las actividades en función del ciclo de indagación (figura 1) y de modelización (Couso y Garrido-Espeja, 2017). La exposición de resultados de esta fase será descriptiva, destacando cuáles fueron las decisiones tomadas en función de la contextualización, cómo se desarrolló la pregunta inicial y cómo diseñamos la simulación por su poder explicativo del fenómeno.

2.^a Pregunta (implementación): análisis de las producciones del alumnado y videograbaciones

Por un lado, se diseñó un *cuaderno del alumna/o*, con una selección de las actividades (tareas de la secuencia didáctica) que queríamos que escribieran y con un objetivo docente: favorecer que cada alumno/a respondiera de manera individual y luego poner en común en pequeño y gran grupo. En concreto, en el cuaderno incluimos las actividades A1-A4, A7-A10 (tabla 1). De esta manera, evitamos la sobrecarga

de tareas del alumnado con cuestionarios que no le aportan a su formación y recogemos las respuestas individuales de todos/as para su análisis, por si la vergüenza o timidez les impide ponerlas en común.

Las respuestas del alumnado han sido agrupadas por similitud de manera emergente (sin categorías previas) por tres de los autores de manera individual (con el fin de garantizar la confirmabilidad) y contabilizando la frecuencia de cada categoría, lo que dará una idea de las concepciones más extendidas sin desmerecer otras más minoritarias, también valiosas. El agrupamiento por similitud fue muy coincidente entre los tres investigadores y, cuando las hubo, se discutieron las discrepancias y se llegó rápidamente a acuerdos, calculando un coeficiente de confiabilidad entre evaluadores de 0.90, considerado un valor aceptable (Miles y Huberman, 1994).

Con el fin de garantizar la estabilidad de los datos (validez interpersonal y temporal) a la categorización (Vázquez y Angulo, 2003), los investigadores repitieron el proceso de agrupación un mes después, no detectando variaciones significativas.

Dado el carácter descriptivo-interpretativo de esta investigación y, por cuestiones éticas de no privar de la implementación a ningún grupo, esta fue pensada para los tres grupos de 1.º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO, 12-13 años) del IES El Alquían, Almería. Cada grupo estaba formado por 25 estudiantes (N = 75) que han trabajado en grupos de tres-cuatro alumnos (n = 21) durante las cuatro sesiones (4 h) de intervención.

Como criterio de credibilidad-confianza, mostraremos los resultados de la implementación en los tres grupos de 1.º de ESO a modo de prueba de validez interna dadas las escasas diferencias entre los grupos, sin ningún ánimo de comparación entre ellos, por lo que en el análisis no se diferenciará entre ellos.

Por último, a estos criterios de calidad de la investigación cualitativa queremos añadir uno que Yvonna Lincoln destacó al final de su carrera académica: la «autenticidad», de manera que mostramos datos reales o verdaderos de los participantes que, además de las producciones (en imágenes), previa autorización parental de los estudiantes, se realizaron *videograbaciones* de cada uno de los tres grupos-clase en los que se implementó la secuencia con una videocámara colocada al final de la clase mirando hacia la pizarra. Las videograbaciones han sido analizadas con software de análisis cualitativo ATLAS.TI (versión 7.5.4), centrándonos en segmentar las expresiones en voz alta durante las sesiones. Cada segmento ha sido etiquetado con la actividad y con la fase de indagación en la que surge para complementar el análisis del cuaderno del alumnado, de manera que se favorece la triangulación de datos para aumentar su validez y confiabilidad.

A continuación, comentaremos los resultados junto con su análisis en función de las dos preguntas de investigación de este trabajo, en primer lugar el diseño y, en segundo lugar, el análisis de las ideas movilizadas de los alumnos.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA PRIMERA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO DE UNA SECUENCIA DE INDAGACIÓN CONTEXTUALIZADA EN UN «CRIMEN EN LA PLAYA»

De la idea inicial centrada en la problemática ambiental de la escasez de agua para el riego, comenzamos clarificando *¿qué queríamos que aprendieran los estudiantes?* y nos centramos en las ventajas e inconvenientes de las desaladoras, encontrando que su mayor impacto en el medio era el exceso de salmuera y la posible afección a peces y algas en el mar, lo que nos llevó a la pregunta que pudiera enganchar al alumnado: *¿cómo es posible que jureles y lechugas de mar aparezcan muertos por deshidratación si están rodeados de agua de mar?* Esto nos condujo al conocimiento necesario para explicarlo: el modelo de ósmosis.

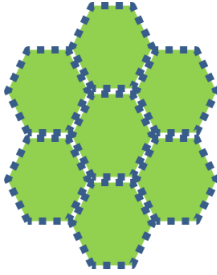
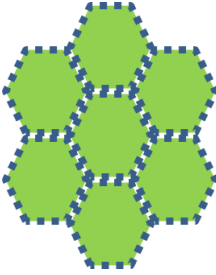
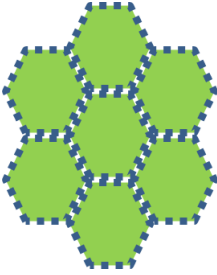
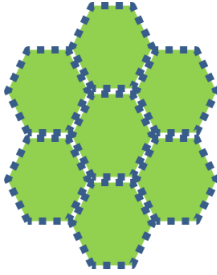
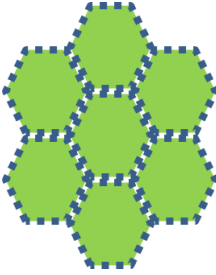
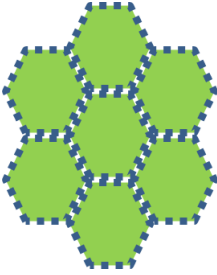
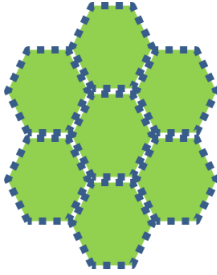
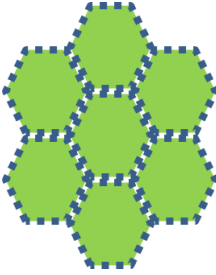
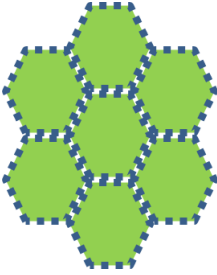
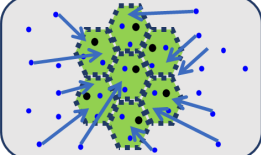
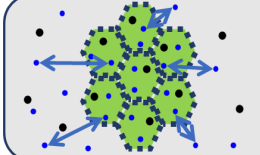
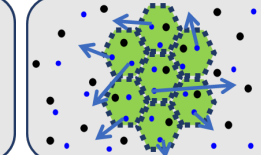
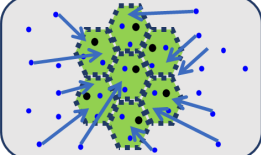
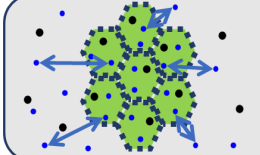
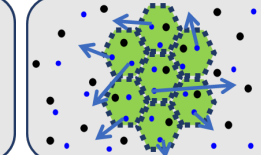
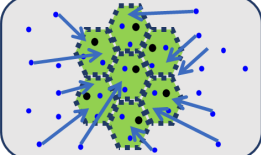
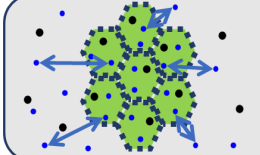
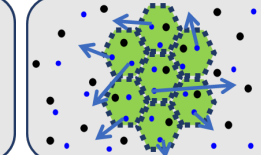
El ciclo de indagación (figura 1) nos sirvió de estructura y guía para diseñar las actividades, con algunos elementos clave: ¿qué pensáis?, ¿cómo podemos demostrarlo?, ¿qué pruebas tenemos? En concreto, para la búsqueda de pruebas, en esta fase de diseño de la secuencia, los docentes propusimos algunos diseños experimentales concretos y evaluar su plausibilidad, y probamos –a modo de «lechugas de mar»– qué se observaba (con lupa o microscopio) cuando echamos lechuga en agua salada, del grifo y destilada, buscando fotografías de células vegetales hiperhidratadas (explosionadas) y deshidratadas (implosionadas). Esta etapa del diseño nos permitió adelantar criterios para la evaluación de los diseños experimentales que propusiera el alumnado. La última decisión importante guardaba relación con el proceso de modelización. Aquí el factor determinante fue el tiempo reducido y anticipamos una simulación simplificada basándonos en dos elementos: la membrana o pared celular que deja pasar solo partículas más pequeñas que sus «huecos» y el *flujo de agua* identificado con flechas y con movimiento-simulación para equilibrar a modo de ecuación aritmética.¹ Somos conscientes de que este es el inicio de una progresión de aprendizaje, un modelo menos sofisticado que considera la cantidad de sustancias (agua, sal, oxígeno, etc.) y su «tamaño» como elementos explicativos de la presión osmótica en niveles educativos de ESO.

Siguiendo el proceso descrito, la secuencia que presentamos a continuación (tabla 1) debe ser considerada como un resultado en sí mismo de la primera pregunta de investigación.

Tabla 1.
Secuencia de actividades fundamentadas en el enfoque de enseñanza por indagación

<i>Fase de indagación (i, fig. 1) o modelización (M)</i>	<i>Secuencia de actividades: «Crimen en el mar»</i>		
i1. Pregunta que «enganche»	A1. Han aparecido numerosos jureles y lechugas de mar (algas) muertos flotando en la playa que hay frente a la universidad. Una asociación ecologista ha encontrado que los jureles y las lechugas de mar están deshidratados, ¿cómo es posible que estén deshidratados si están rodeados de agua?		
Descripción del contexto	A2. Para poder averiguar la causa de la muerte necesitamos saber las infraestructuras que hay en la zona y qué la pueden haber provocado. Este es el mapa que rodea la Universidad de Almería. A3. ¿Qué creéis que puede tener el agua que causa la muerte masiva por deshidratación de los jureles y la lechuga de mar?		
i3. Planificación, evaluación o desarrollo de diseños para obtener pruebas	A4. Puesta en común de todas las respuestas. Se distribuye a cada grupo una de estas respuestas. Cada grupo debe pensar cómo comprobar si la suya podría ser la causa de la muerte en masa de peces y algas. Completar la tabla.		
	Causa (ejemplos)	¿En qué se notaría en el agua además de las muertes de peces y algas?	Diseño para comprobarlo
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vertido, depuradora, químicos, veneno, contaminación 2. Temperatura, falta de O₂, gasoducto 3. Petróleo 4. Intoxicación de algas 5. Por pesca de arrastre 6. Fin de ciclo vital 7. Había mucha sal de la desaladora 		

1. Esta simplificación de la ósmosis permitirá en un futuro construir el equilibrio osmótico en función de la concentración; en esta secuencia responde a la necesidad de buscar explicación a los fenómenos observados.

<i>Fase de indagación (i, fig. 1) o modelización (M)</i>	<i>Secuencia de actividades: «Crimen en el mar»</i>								
i2. Expresar y justificar ideas personales	Los docentes ofrecen datos de presencia/ausencia de petróleo, de químicos, de temperatura del agua, etc. que ayudan a ir descartando opciones. Tras el descarte de las seis opciones primeras, nos centramos en la séptima, A5. ¿Cómo creéis que funciona una desaladora? Buscamos información. A6. ¡Vamos a verlo! Simulamos una desaladora filtrando agua con arena. Utilizaremos los materiales: Una cubeta grande, agua, arena limpia, grava, un calcetín o trapo (símil de membrana de la desaladora).								
i3. Planificación, evaluación o desarrollo de diseños para obtener pruebas	A7. Imaginaos que de verdad es la sal la culpable de que estén deshidratados, ¿cómo lo podríamos demostrar (sin matar ni dañar peces)? Diseñad un experimento usando lechugas que permita visualizar/representar el efecto de la sal sobre las algas. En un cuenco, una hoja de lechuga sumergida en agua del grifo durante media hora. En un segundo cuenco, otra hoja de lechuga sumergida en una solución de agua y sal durante media hora. En un tercer cuenco, otra hoja de lechuga sumergida en agua destilada durante media hora. Ver lo que ocurre a las hojas de lechuga a simple vista, y a sus células (lupa o, en su defecto, fotos).								
i4., 5. y 6. Recopilación y expresión de datos, búsqueda de pruebas y conclusión	A8. Recopilación de datos. ¿Qué les pasa entonces a las células de la lechuga con las diferentes aguas? ¿En cuáles de los casos aparece deshidratada la hoja? ¿Hay algún caso de hiperhidratación?								
M1. Nueva pregunta (inicio de modelización) y 2. expresión y justificación de ideas personales	A9. ¿Cómo crees que ha podido ocurrir esto? Imagina qué ocurre dentro de la célula cuando añadimos agua, agua destilada y agua salada (dibújalo en el siguiente esquema). <table border="1" data-bbox="468 990 1314 1321" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th data-bbox="468 990 750 1036"><i>Agua Destilada</i></th> <th data-bbox="750 990 1032 1036"><i>Agua del grifo</i></th> <th data-bbox="1032 990 1314 1036"><i>Agua con sal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="468 1036 750 1321"></td> <td data-bbox="750 1036 1032 1321"></td> <td data-bbox="1032 1036 1314 1321"></td> </tr> </tbody> </table>			<i>Agua Destilada</i>	<i>Agua del grifo</i>	<i>Agua con sal</i>			
<i>Agua Destilada</i>	<i>Agua del grifo</i>	<i>Agua con sal</i>							
									
M3. Simulación del modelo de ósmosis	<table border="1" data-bbox="468 1342 1314 1508" style="width: 100%; text-align: center;"> <tbody> <tr> <td data-bbox="468 1342 736 1508"></td> <td data-bbox="736 1342 1003 1508"></td> <td data-bbox="1003 1342 1270 1508"></td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="468 1518 1314 1694">Tras la discusión de los dibujos entre compañeros y el análisis si sirven o no para explicar lo que les sucede a las lechugas, previamente a la A10, el docente presenta unas imágenes dinámicas en las que se explica qué sucede en cada uno de los diferentes casos presentados en la A9. imágenes estáticas extraídas DE la simulación dinámica² del proceso osmótico (a. agua destilada, b. agua del grifo y c. agua salada)</p>								
									
i5. Recopilamos las pruebas	A10. ¿Con esos datos, qué creéis que les pasará a los peces y algas si hay mucha sal en el agua?								

2. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.8293772.v2>

<i>Fase de indagación (i, fig. 1) o modelización (M)</i>	<i>Secuencia de actividades: «Crimen en el mar»</i>
i6. Obtener conclusiones	A11. Recordamos que una asociación ecologista ha encontrado que los jureles y las lechugas de mar estaban deshidratados, ¿puedes explicar ahora cómo es posible que estén deshidratados si estaban rodeadas de agua?
M6. Aplicar el modelo en otro contexto (transferencia)	A12. Después de averiguar lo que les ha ocurrido a los peces y algas de la playa de la universidad, investigadores se preguntan si éste fenómeno guarda relación con los peces muertos en las playas de Islandia donde han aparecido inflados (hiperhidratados). ¿Qué crees que ha podido ocurrir en las aguas de Islandia?
	A13. Si nos encontráramos en mitad del mar, ¿podemos beber agua del mar? ¿Y si tuviéramos agua destilada? ¿Qué ocurriría en nuestras células en ambos casos? ³
Autorregulación	A14. ¿Qué hemos aprendido? ¿Cómo hemos aprendido? ¿Cómo nos hemos sentido?

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA SEGUNDA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN: EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA SECUENCIA

Para la evaluación de la efectividad de la secuencia nos vamos a centrar en tres aspectos: cómo ayuda a construir conocimiento descriptivo, cómo el alumnado muestra sus ideas personales y es capaz de explicar el problema inicial (muerte por deshidratación de peces en el mar) y cómo les ayuda a predecir y transferir lo aprendido a nuevos contextos planteados (muerte por hiperhidratación de peces en las aguas de Islandia) u otros contextos que surjan espontáneamente (consecuencias en el metabolismo humano de beber agua de mar o agua destilada).

Construcción del conocimiento descriptivo

Para analizar la expresión de ideas personales surgidas durante la secuencia, vamos a analizar los resultados de dos de las primeras actividades (A1-A4) donde se pedían las causas que explicaran la muerte de jureles y lechugas de mar por deshidratación; y las relativas a la búsqueda de pruebas (A7 y A8) para analizar si ayudan a demandar un modelo explicativo.

Las propuestas iniciales sobre las causas del «crimen de los jureles y lechugas de mar» fueron diversas y muy creativas (tabla 2).

Tabla 2.
Resultados de la A1

	<i>Grupos pequeños (de 4 estudiantes) (n = 21)</i>	<i>1.º B (n = 7)</i>	<i>1.º C (n = 7)</i>	<i>1.º D (n = 7)</i>
Contaminación ⁴	14	4	5	5
Enfermedad	1	-	-	1
Exceso de Sol	1	-	-	1
Por comer lechuga ⁵	1	-	-	1
Por salir del agua	3	1	1	1

3. Esta actividad no fue necesaria porque, como veremos en los resultados, surgió espontáneamente planteada por una alumna y, por razones de tiempo, no incidimos en ella.

4. Los grupos podían seleccionar más de una causa (categorías no excluyentes).

5. Como en el enunciado de la pregunta inicial se hace alusión a que murieron lechugas de mar y jureles, estos alumnos interpretaron que los peces morían por comer lechugas de mar.

	Grupos pequeños (de 4 estudiantes) (n = 21)	1.º B (n = 7)	1.º C (n = 7)	1.º D (n = 7)
Falta de sal	1	-	1	-
Los han tirado ya muertos	2	1	1	-
Le tapan las branquias	2	1	1	-
Exceso de sal	1	-	-	1

En la discusión en gran grupo, la mayoría de los estudiantes (14 de los 21 grupos-pequeños) señala la contaminación como causa del «crimen». Algunos de ellos se justificaron indicando que «los peces necesitan agua limpia para que puedan respirar y todo eso...» (A24-1C-V1-5:30), lo que permitiría explicar la muerte por deshidratación a pesar de estar rodeados de agua. Las propuestas de los estudiantes menos frecuentes pero interesantes porque pretenden justificar la pregunta inicial (muerte por deshidratación) fueron el «exceso de Sol» o el «exceso de sal».

En cuanto a las causas planteadas (A3) los estudiantes se distribuyeron por grupos-pequeños para proponer diseños experimentales (A4) acordes a sus causas (vertido, depuradora, químicos, veneno y contaminación; temperatura y falta de O₂, gasoducto; petróleo y eutrofización; intoxicación por algas; por pesca de arrastre; fin de ciclo vital; había mucha sal en el agua). El grupo G3-1D⁶ planteó como posible causa el vertido de petróleo y propusieron observar el color de agua en la zona de la catástrofe y compararla con otra zona donde no hubiesen aparecido peces o algas flotando (figura 2).

Nombre: Grupo 3

A.4. Cada grupo debe pensar cómo comprobar si la causa que le ha tocado es el motivo de la muerte en masa de peces y algas.

Causa (ejemplos)	¿En qué se notaría en el agua además de las muertes de peces y algas?	Diseño para comprobarlo
1. Vertido, depuradora, químicos, veneno, contaminación 2. Temperatura, falta de O ₂ , gasoducto 3. Petróleo, eutrofización 4. Intoxicación por algas 5. Por pesca de arrastre 6. Fin de ciclo vital 7. Había mucha sal de la desaladora	Que el agua estaría más oscura	Vamos a ver desde un punto de vista la parte donde han aparecido los peces y después vamos a ver la otra parte del mar. Si en la parte donde están los peces el agua es más oscura que en el otro lado significa que la culpa es del petróleo y por el olor del agua.

Fig. 2. Respuesta de G3-1D a la A4.

Por su parte, el grupo que defendió el aumento de temperatura como causa, consideró que el diseño más adecuado para obtener pruebas consistiría en medir la temperatura del agua de la zona de la masacre, en zona limpia y otra próxima al gasoducto. El grupo-pequeño que tuvo como causa el fin del ciclo vital, señaló que, para comprobarlo, los cadáveres solo debían ser de peces viejos (y en las fotos se veían peces de diferentes tamaños), y así sucesivamente, demostrando no solo creatividad a la hora de proponer diseños sino también una gran coherencia en sus propuestas.

En aras de futuras implementaciones (proceso iterativo de la investigación de diseño) es necesario revisar la palabra *diseño* en las actividades (tercera columna figura 2), pues muchos grupos-pequeños lo identificaron como sinónimo de *dibuja*.

6. Etiqueta para identificar al grupo pequeño 3 de 1.º ESO D.

En las actividades de la evaluación de los diseños experimentales (A4-A5), los grupos confirmaron o descartaron su causa en función de las fotografías iniciales o preguntando al docente si se había encontrado petróleo en las proximidades, datos sobre la temperatura en torno al gasoducto, etc. Tras este proceso de descarte colectivo, el alumnado seleccionó la desaladora como la causa más probable por el efecto del exceso de sal sobre los peces y algas. En la tabla 3 mostramos las propuestas de los grupos sobre cómo comprobar si el exceso de sal afectaba a las lechugas, agrupadas en tres elementos clave: qué utensilios, qué se observa y el formato del experimento.

Tabla 3.
Resultados de la actividad 7

	<i>N.º de grupos (n = 21)</i>	<i>1.º B</i>	<i>1.º C</i>	<i>1.º D</i>
Utensilios (junto con la lechuga):				
Sal y agua	16	5	6	5
Solo sal	5	2	1	2
¿Qué se observa?:				
Si se chafa / pudre	5	2	2	1
Si se pone blanca	1			1
Si se absorbe la sal	4	3		1
Si se encoje	1		1	
Formato del experimento:				
Esperar un tiempo	2		1	1
Comparamos agua y agua + sal	2	1	1	

Al principio, los grupos no percibían grandes cambios en las lechugas sumergidas en los tres medios: «no está pasando nada» (A12-1C-V2-36:43) en el agua con sal; «yo creo que solo estamos haciendo una ensalada» (A3-1B-V2-33:20), hasta que las sacaron del medio acuoso señalando, sin intervención del profesor, que en el agua destilada se volvía transparente: «está blanco, está como tú» (A9-1B-V2-36:20); la lechuga «se ha puesto tiesa» y otro matiza «¡transparente!» (A22 y A15-1C-V2-36:43); «tienes razón, se le ven las “venas”» destaca el docente ante la indicación inaudible de una alumna. En el agua salada, las observaciones los llevaron a afirmar que «está blanda» (A81B-V2-34:29), «arrugada, flácida, muy suave» (Alumnos varios 1C-V2-39:53).

Estas observaciones promovieron que A18-1C-V2-34:25 preguntara en voz alta: «Profesor, ¿por qué se está volviendo transparente?», y que A5-1B-V2-35:00, al ver su lechuga en agua con sal, explicara que «¡¡¡está blanda!!! La sal te deja más seco... por eso cuando vas a la playa y tienes una herida (o una espinilla) te la cura». Esto provocó que otro compañero le respondiera que «no te la cura, te la deja tiesa, seca».

De esta forma, los alumnos consiguieron identificar los fenómenos observables de la lechuga sumergida en los tres medios acuosos, aumentando un conocimiento descriptivo que no poseían (o del que no habían tomado conciencia hasta este momento), detonante de querer averiguar por qué ocurre (necesidad de un modelo explicativo).

Expresión de ideas personales del alumnado relacionadas con la ósmosis

Las siguientes actividades (A9 y A10) se dedicaron a la construcción de un modelo, centrando sus posibles explicaciones iniciales en el nivel celular: «Imagina qué ocurre dentro de la célula cuando

añadimos agua, agua destilada y agua salada», surgiendo prácticamente todas las posibilidades para los tres medios, es decir que entra (9) o sale agua, que entra o sale sal (4), que se rompe la pared, que cambian de tamaño las células, células tíasas, o que salen células y en el caso del agua del grifo que no pasa nada (12).

Los dibujos expresados en el cuaderno del alumnado nos han permitido analizar la coherencia de sus respuestas: una categoría «coherente» será aquella en la que se plantea que el exceso o el medio entra en la célula. La figura 3 (G3-1D) es un ejemplo de la categoría «coherente»; para estos alumnos, todo lo que rodee a la lechuga entra, y el efecto observado se debe a la capacidad de entrar en la célula, independientemente de lo que entre (agua destilada o agua con sal). El caso del agua de grifo, al no observarse nada en la lechuga, para estos alumnos –en su coherencia– no entra ni sale nada de la célula.

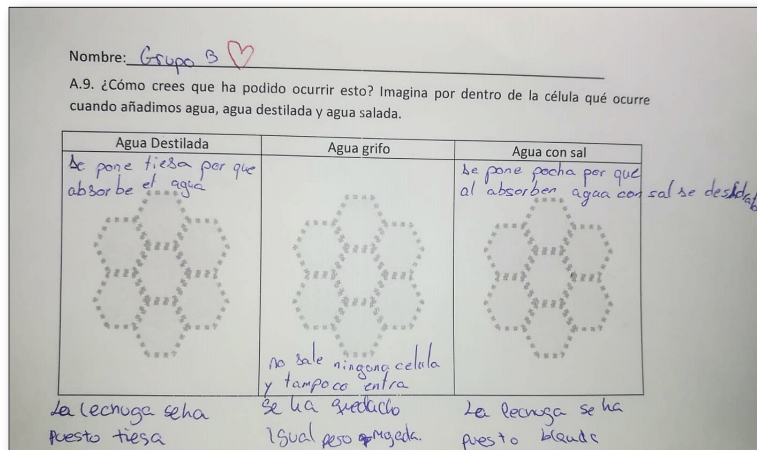


Fig. 3. Respuesta de G3-1D a la A9. Ejemplo de categoría «coherente».

La figura 4, respuesta del G4-1C, muestra un ejemplo representativo de otra categoría que hemos denominado «agua», pues estos alumnos plantean que el agua destilada entra en la célula y, en el agua con sal, el agua sale de dentro de esta, permaneciendo igual en el caso de la lechuga en agua de grifo. Este dibujo se aproxima mucho al proceso de ósmosis, y donde la incorporación de la sal no conllevará mucha dificultad.

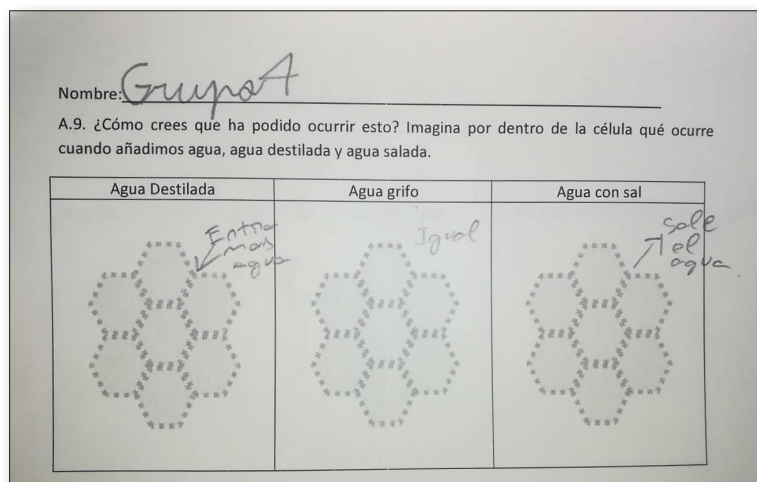


Fig. 4. Respuesta de G4-1C a la A9. Ejemplo de categoría «agua».

Similar a la anterior y que también puede plantear poca dificultad en la posterior construcción del modelo científico escolar de ósmosis, es lo que señalan en la figura 5 el G2-1B, que hemos seleccionado como ejemplo de la categoría «sal», donde lo que plantean es la salida de sal (en medio agua destilada) y la entrada de sal (en medio agua salada).

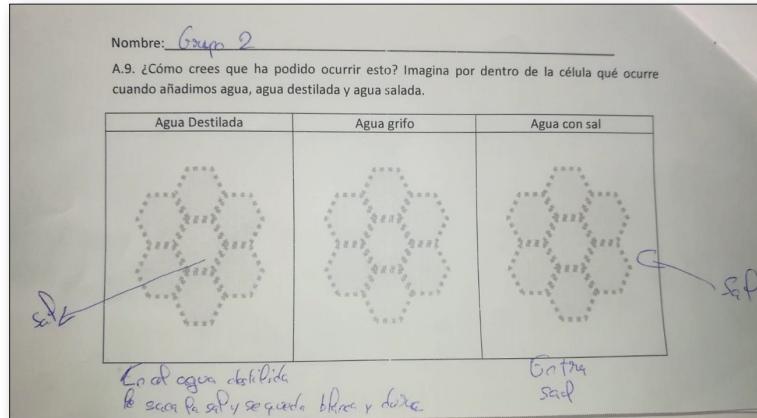


Fig. 5. Respuesta de G2-1B a la A9. Ejemplo de categoría «sal».

La literatura didáctica (en *antecedentes* de este artículo) ponía de manifiesto las dificultades del alumnado para comprender el proceso de ósmosis en niveles de Bachillerato o superiores. Estos dibujos planteados por el alumnado parecen indicar que la observación de la turgencia de las lechugas en los tres medios acuosos ha movilizó explicaciones próximas al modelo de ósmosis que, de otra manera, hubieran sido ingenuas o poco explicativas.

A modo de análisis de estos resultados, tras esta expresión de los modelos iniciales (A9), el proceso de modelización como enfoque de enseñanza continuaría con la evaluación y revisión de estos modelos iniciales para expresar el modelo final (Couso y Garrido-Espeja, 2017; Oliva, 2019). Como la implementación de esta secuencia se ha encontrado con una limitación temporal de cuatro sesiones planteada por la profesora responsable en el centro educativo, optamos por diseñar una simulación con la que revisar los modelos iniciales (A10, animación accesible en <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.8293772.v2>). De esta manera, tratamos de revisar el modelo expresado (dibujos) y de analizar cuál era más explicativo de lo sucedido en las pruebas obtenidas en A7 (lechugas). Este paso fue importante para el alumnado porque permitió detectar la necesidad de construir el modelo de membrana (qué deja entrar y salir), y pudimos incidir en el motivo y el sentido del movimiento de las moléculas (de agua) y en que el tamaño de las moléculas de sal impedía su entrada-salida de las células de la lechuga.

El uso de la simulación del nivel celular junto con la visualización de las fotos de células vegetales implosionadas y explosionadas (a falta de lupas) facilitaron las conclusiones de los estudiantes sobre las causas de la mortandad de peces y algas en la playa cercana a la desaladora.

En esta fase son escasos los comentarios del alumnado, que solo inciden en reforzar alguna de las ideas del modelo de ósmosis: «solo se mueve el agua, pero la sal no» (A12-1C-V3-5:51) o «es un proceso infinito» (A24-1C-V3-7:26), recalcando la idea de equilibrio dinámico y que en este medio también hay movimiento de las moléculas de agua (entrada y salida en igual medida).

Evaluación de la capacidad predictiva para transferir lo aprendido a nuevos contextos

El alumnado, además de comentar y reforzar las ideas principales del modelo de ósmosis, plantea nuevos interrogantes, por ejemplo, justo en el momento en el que mostrábamos el tercer caso de la simulación (tabla 1, fila de la A10, opción c), cuando el exceso de agua destilada explota la célula, una alumna comentó «entonces no podemos beber agua destilada... ¿te puedes morir por eso?» (A17-1C-V3-20:11), a lo que otro le respondió «te mueres por hidratación porque esa agua no lleva ningún tipo de sal ni cosas de esas» (A3-1C-V3-20:29, el profesor aclara el término hiperhidratación), lo que ya está indicando el poder predictivo y de transferencia a otros contextos. La pregunta de esta alumna hizo que surgiera espontáneamente la actividad A13.

La respuesta a cuál puede ser la causa de que los peces hayan muerto deshidratados ya fue contundente. Los dibujos de los estudiantes mostraron en su mayoría (95 %) el uso del modelo de ósmosis, aunque en sus comentarios se centraron exclusivamente en buscar la causa descriptiva: «tiene que haber un exceso de sal ... fuera de la célula» (varios alumnos-1C-V3-22:38); y, ante la pregunta del docente de por qué solo han aparecido jureles y lechugas de mar, comentaron que «porque están en la orilla» (Alumnos-1C-V3-26:55 algunos de los padres de estos alumnos son pescadores) y otro (A1-1C-V3-27:05) señaló que «son más sensibles», lo que dio pie a introducir los límites críticos de salinidad diferentes en cada especie y plantear el primer problema de transferencia: muerte de peces por hiperhidratación en Islandia (A12) cuya respuesta fue rapidísima: «el culpable es el agua dulce» (A12-1B-V4-18:45), «del iceberg» (A1-1B-V3-35:53), que coincide con la expresión de A1-1C-V4-18:46, «por culpa del iceberg, porque se derrite y [es agua dulce] que va al mar».

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Lejos de querer mostrar un producto acabado, hemos descrito las principales decisiones tomadas en la fase de diseño, pues dicho proceso, su operativización, su transferencia y la generación de una «teoría de la enseñanza» han sido señalados como uno de los principales retos de la didáctica de las ciencias experimentales (DCE) en la próxima década (Zemba-Saul, 2017). Esto ha servido para justificar que sí es posible y que el ciclo de indagación (figura 1) sirve de pauta para el diseño, respondiendo así a la primera pregunta de investigación planteada (*¿cómo transformar un problema ambiental en una secuencia de indagación-modelización...?*).

La secuencia (tabla 1) es producto de un proceso de diseño que asume los siguientes tres criterios de calidad: en primer lugar, el criterio de validez de contenido y de constructo, pues la secuencia está fundamentada en las concepciones alternativas del alumnado descritas en el marco teórico y se enmarca en el enfoque de enseñanza por indagación y modelización. En segundo lugar, responde a la necesidad de dotar al alumnado de fenómenos observables con los que movilizar sus explicaciones personales sobre la que analizaremos su efectividad como criterio de calidad de la investigación. Por último, ha sido producto del trabajo cooperativo de docentes de DCE de dos universidades y de profesorado de Educación Secundaria Obligatoria, lo que le confiere utilidad o carácter práctico (Nieveen, 1999 citado por Romero-Ariza, 2014).

Queremos destacar que una de las principales aportaciones del diseño ha sido el uso del modelo-simulación de ósmosis que podemos ahora justificar indicando que, además de ayudar al alumnado a explicar lo que cambia (la lechuga se chafa o se encoje) ayuda a construir explicaciones del dinamismo del equilibrio (agua del grifo), centrando la atención del alumnado en que, cuando aparentemente no «pasa nada» (la lechuga mantiene su turgencia), a nivel celular sí está pasando: el agua que entra es la misma que el agua que sale, y es coherente con la explicación de los dos fenómenos de deshidratación o hiperhidratación.

Para la segunda pregunta (*¿en qué medida la secuencia diseñada moviliza las ideas personales del alumnado...?*) hemos comenzado respondiendo a si esta secuencia de indagación-modelización diseñada es adecuada para 1.º de ESO. Esto se ha puesto de manifiesto en el análisis de las respuestas que dieron al cuaderno del alumnado y de los comentarios descritos, tanto por la movilización de propuestas iniciales sobre las posibles causas de la masacre de peces y algas (conocimiento descriptivo), como por la creatividad en los diseños coherentes para buscar pruebas y también por la capacidad de transferir conocimiento a otros contextos.

Para concluir sobre la movilización de las ideas del alumnado, especial relevancia cobran los resultados de la capacidad del alumnado para expresar modelos iniciales (figuras 3, 4 y 5) que explican el efecto del agua salada, agua destilada y agua del grifo sobre la lechuga. Como hemos indicado en el análisis de los resultados de la segunda pregunta, sin la observación de la turgencia de la lechuga a escala macroscópica difícilmente los estudiantes hubieran propuesto modelos con capacidad explicativa, muchos de ellos muy coherentes, lo que refleja la necesidad de contextualizar estos contenidos en torno a fenómenos observables y próximos al alumnado (Lupi3n-Cobos et al., 2017). El conocimiento descriptivo generado por el ciclo de indagación (objetivo didáctico 6 de la figura 1) ha sido imprescindible para generar necesidad de un modelo explicativo. Las imágenes de células vegetales implosionadas y explosionadas han sido cruciales para dotar de credibilidad a la simulación y, lejos de producir malinterpretaciones (Sanger et al., 2001), han servido para que los estudiantes rápidamente la mortandad de peces y lechugas de mar por vertido de salmuera de la desaladora (por deshidratación) o lo transfirieran al derretimiento de icebergs en la mortandad de los peces de Islandia (por hiperhidratación).

Esta secuencia tiene como principal mérito ayudar a que el alumnado del primer ciclo de secundaria (12-14 años) sea capaz de explicar con el modelo de ósmosis los problemas de deshidratación o hiperhidratación en peces y algas a nivel celular. Esto facilitará la progresión de modelos hacia explicaciones más sofisticadas en niveles superiores (Bachillerato) con el gradiente de concentración, el equilibrio dinámico y la difusión como ideas clave y, por tanto, esta secuencia debe ser considerada como precursora a la construcción del modelo de membrana celular (Hind, Leach y Ryder, 2001) y su funcionamiento.

Este proceso de prácticas científicas (indagación y modelización) permitiría otra posible continuación, de manera explícita, hacia la argumentación, planteando la sobreexplotación hídrica como controversia sociocientífica, donde el conocimiento desarrollado permita resolver el conflicto de si las desaladoras son o no la panacea para el agua para riego.

Con todo esto estamos contribuyendo a reducir la bifurcación de fines y de productos de la investigación y la docencia, de manera que aportamos una publicación de investigación didáctica sobre una secuencia de actividades para el aula, fundamentada y evaluada desde un enfoque de enseñanza (indagación-modelización).

Como en todo proceso de diseño, la secuencia puede mejorarse. Los resultados de esta investigación nos abren las puertas de otras sobre el proceso de modelización, pues en la secuencia presentada está muy concentrada en dos actividades, lo que genera que concretemos en más actividades la construcción del modelo y de cómo la simulación contribuye a la revisión de sus modelos iniciales. Para ello, al comienzo del ciclo de indagación, podríamos incorporar una actividad en la que los estudiantes imaginen qué creen que pasa por dentro de la lechuga de mar (o de los jureles) para que mueran por deshidratación en mitad del mar. Esto nos permitirá comparar las explicaciones iniciales con las posteriores a la observación de las lechugas en diferentes medios acuosos (salino, grifo y destilada).

Como propuesta de investigación futura, junto con el estudio de la silenémica (silencios significativos) en el proceso de modelización, diseñaremos una continuación de la secuencia hacia al proceso de difusión y transporte (respiración branquial).

AGRADECIMIENTOS

Este artículo es infinitamente mejor del original gracias a los comentarios y sugerencias de los/las revisores/as y editor. A la financiación parcial del MINECO (EDU2017-82197-P) y del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (PRX19 / 00364).

REFERENCIAS

- Aguilera-Morales, D., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruíz-Delgado, Á., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M. y Perales-Palacios, F. J. (2018). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Revista de Educación*, 381, 259-284. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388>
- Blanco-López, Á., Martínez-Peña, B. y Jiménez-Liso, M. R. (2018). ¿Puede la investigación iluminar el cambio educativo? *APICE, Revista de Educación Científica*, 2(2), 15-28. <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4612>
- Christianson, R. G. y Fisher, K. M. (1999). Comparison of student learning about diffusion and osmosis in constructivist and traditional classrooms. *International Journal of Science Education*, 21(6), 687-698. <https://doi.org/10.1080/095006999290516>
- Cortés-García, A. L. (2004). Ideas sobre la permeabilidad en estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 22(1), 37-46. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21959>
- Couso, D. y Garrido-Espeja, A. (2017). Models and modelling in pre-service teacher education: Why we need both. En K. Hahl, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto y J. Lavonen (Eds.), *Cognitive and affective aspects in science education research. Selected Papers from the ESERA 2015 Conference* (pp. 245-261). Dublín: Springer.
- Durán, M. J., Gallardo, S., Toral, S. L., Martínez, R. y Barrero, F. J. (2007). A learning methodology using Matlab/Simulink for undergraduate electrical engineering courses attending to learner satisfaction outcomes. *International Journal of Technology and Design Education*, 17(1), 55-73. <https://doi.org/10.1007/s10798-006-9007-z>
- Ferrés, C. (2017). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 14(2), 410-426. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10498/19226>.
- Friedler, Y., Amir, R. y Tamir, P. (1987). High school students' difficulties in understanding osmosis. *International Journal of Science Education*, 9(5), 541-551. <https://doi.org/10.1080/0950069870090504>
- Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J. y Gutierrez, J. (2017). Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 1-14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020139>
- Hasni, A., Roy, P. y Dumais, N. (2016). The Teaching and Learning of Diffusion and Osmosis: What Can We Learn from Analysis of Classroom Practices? A Case Study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(6). <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1242a>
- Hind, A., Leach, J. y Ryder, J. (2001). *Teaching about the nature of scientific knowledge and investigation on AS/A level science courses* (Technical report). Leeds, UK: University of Leeds. Obtenido de <https://www.nuffieldfoundation.org/sites/default/files/files/TASNuffProjReport.pdf>

- Jimenez-Liso, M. R. (2020). Aprender ciencia escolar implica aprender a buscar pruebas para construir conocimiento (indagación). En D. Couso, M. R. Jimenez-Liso, C. Refojo y J. A. Sacristán (Eds.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 60-69). Madrid: Penguin Random House Grupo Editorial. Obtenido de <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Jiménez-Liso, M. R., Avraamidou, L., Martínez-Chico, M. y López-Gay, R. (2019). Scientific Practices in Teacher Education: The interplay of sense, sensors, and emotions. *Research in Science & Technological Education*.
<https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1647158>
- Jiménez-Liso, M. R., Gómez-Macario, H., Garrido Espeja, A., Martínez-Chico, M. y López-Gay, R. (2020). La biología por indagación emocional. Percepciones de los estudiantes sobre lo que aprenden y sienten. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(1), 1203.1-1203.18. https://doi.org/https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i1.1203
- Jiménez-Pérez, R. (2010). Ayer, hoy y mañana de la Didáctica de las Ciencias. En J. M. Dominguez-Castiñeiras (Ed.), *Actas de los XXV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 21-45). Santiago de Compostela: Servicio de Publicaciones Universidade Santiago.
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. En R. Duschl y R. Grandy (Eds), *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation* (pp. 99-117). Rotterdam: Sense Publishers.
- Leach, J., Ametller, J. y Scott, P. (2010). Establishing and communicating knowledge about teaching and learning scientific content: The role of design briefs. En K. Kortland y K. Klaassen (Eds.), *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (pp. 7-36). Utrecht: Utrecht University-CDBeta Press.
- López-Simó, V., Grimalt-Álvaro, C. y Couso, D. (2018). ¿Cómo ayuda la Pizarra Digital Interactiva (PDI) a la hora de promover prácticas de indagación y modelización en el aula de ciencias? *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 15(3), 3302.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3302
- Lupión-Cobos, T., López-Castilla, R. y Blanco-López, Á. (2017). What do science teachers think about developing scientific competences through context-based teaching? A case study. *International Journal of Science Education*, 39(7), 937-963.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1310412>
- Malińska, L., Rybska, E., Sobieszczuk-Nowicka, E. y Adamiec, M. (2016). Teaching about water relations in plant cells: an uneasy struggle. *CBE—Life Sciences Education*, 15(4), 78.
<https://doi.org/10.1187/cbe.15-05-0113>
- Marek, E. A., Cowan, C. C. y Cavallo, A. M. L. (1994). Students' misconceptions about diffusion: How can they be eliminated? *The American Biology Teacher*, 56, 74-77.
- Martínez-Torregrosa, J., Doménech, J. L. y Verdú-Carbonell, R. (1999). Del derribo de ideas al levantamiento de puentes: la epistemología de la ciencia como criterio organizador de la enseñanza en las ciencias física y química. *Curriculum*, 6, 67-90.
- Mckagan, S. B., Handley, W., Perkins, K. K. y Wieman, C. E. (2009). A research-based curriculum for teaching the photoelectric effect. *American Journal of Physics*, 77(1), 87-94.
<https://doi.org/10.1119/1.2978181>
- Meir, E., Perry, J., Stal, D., Maruca, S. y Klopfer, E. (2005). How effective are simulated molecular-level experiments for teaching diffusion and osmosis? *Cell biology education*, 4(3), 235-248.
<https://doi.org/10.1187/cbe.04-09-0049>
- Miles, M. B. y Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. EE. UU.: SAGE.

- Mor, Y., Craft, B., y Hernández-Leo, D. (2013). The art and science of learning design. *Research in Learning Technology*, 21, 1-8.
<https://doi.org/dx.doi.org/10.3402/rlt.v21i0.22513>
- Moraga, S. H., Espinet, M. y Merino, C. G. (2019). El contexto en la enseñanza de la química: Análisis de secuencias de enseñanza y aprendizaje diseñadas por profesores de ciencias en formación inicial. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 16(1), 1604.
https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1604
- National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/9596>
- Odom, A. L. y Barrow, L. H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(1), 45-61.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660320106>
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Oliva, J. M. (2020). Sobre la importancia de contextualizar las investigaciones en didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(1).
<https://doi.org/10.25267/Rev>
- Osborne, J. y Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections*. Londres: Nuffield Foundation. Obtenido de http://efepereth.wdfiles.com/local--files/science-education/Sci_Ed_in_Europe_Report_Final.pdf
- Oztas, F. (2014). How do high school students know diffusion and osmosis? High school students' difficulties in understanding diffusion and osmosis. *Procedia-Social and Behavioral Science*, 116, 3679-3682.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.822>
- Romero-Ariza, M. (2014). Uniendo investigación, política y práctica educativas: DBR, desafíos y oportunidades. *Revista Internacional de Investigación en Educación*, 7(14), 159-176.
<http://doi.org/10.11144/Javeriana.M7-14.UIPP>
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 286-299.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.01
- Rundgren, C. J. y Tibell, L. A. (2010). Critical features of visualizations of transport through the cell membrane—an empirical study of upper secondary and tertiary students' meaning-making of a still image and an animation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(2), 223-246.
<https://doi.org/10.1007/s10763-009-9171-1>
- Sanger, M. J., Brecheisen, D. M. y Hynek, B. M. (2001). Can computer animations affect college biology students' conceptions about diffusion and osmosis? *The American Biology Teacher*, 104-109.
<https://doi/10.2307/4451051>
- Tekkaya, C. (2003). Remediating high school students' misconceptions concerning diffusion and osmosis through concept mapping and conceptual change text. *Research in Science & Technological Education*, 21(1), 5-16.
<https://doi.org/10.1080/02635140308340>

- Torkar, G., Veldin, M., Glažar, S. A. y Podlesek, A. (2018). Why do Plants Wilt? Investigating Students' Understanding of Water Balance in Plants with External Representations at the Macroscopic and Submicroscopic Levels. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(6), 2265-2276.
<https://doi/10.29333/ejmste/87119>.
- Vázquez, R. y Angulo, F. (2003). *Introducción a los estudios de casos. Los primeros contactos con la investigación etnográfica*. Málaga: Aljibe.
- Vázquez-Bernal, B. (2005). *La interacción entre la reflexión y la práctica en el desarrollo profesional de profesores de Ciencias Experimentales de Enseñanza Secundaria: estudio de casos* (tesis doctoral). Universidad de Huelva. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10272/2227>
- Zemal-Saul, C. (2017). Minding the Research-Practice Gap: Promising Approaches for Continuous Innovation in Science Teacher Education. Obtenido de <http://tv.us.es/congreso-internacional-sobre-investigacion-en-la-didactica-de-las-ciencias-iii/>

Context, inquiry and modelling to move lower secondary students' explanations

M.^a RutJiménez-Liso, Luis Delgado, Francisco J. Castillo-Hernández
Grupo Sensociencia. CEIMAR-Universidad de Almería.
mrjimene@ual.es, ldmcorreo@gmail.com, fchl23@ual.es

Isabel Baños

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia.
ibbgl@um.es

As a contribution to reducing the gap between the purposes and products of research and teaching practice, this work presents a didactic research publication about the analysis of the design of a sequence that integrates contextualization, inquiry and modelling. In addition, its effectiveness is assessed from the students' ideas it mobilizes and from the explicative model that students are able to build. The combination of these two elements (design and evaluation of effectiveness) responds to the need to operationalize the designs and to contribute to the scarcity of studies that evaluate the effectiveness of specific proposals for research.

The first research question (*how can an environmental problem –death of fish and algae due to dehydration on the beach– be transformed into an inquiry instructional sequence by means of which to develop descriptive knowledge that generates the need to build a model for osmosis?*), triggers the need to widen the descriptive knowledge of students in the first year of Compulsory Secondary Education. Not having received any previous instruction about osmosis, their learning would be based on evidence (hyperhydration, dehydration and balance, depending on the aqueous medium). For this purpose, a simulation model for osmosis is built, which also allows the transfer of knowledge to other contexts, such as the death of fish due to hyperhydration in Iceland in relation to sudden melting of the icebergs or the effects on human health of drinking distilled or salty water.

Subsequently, in order to evaluate the effectiveness of the designed instructional sequence, we set the second research question, specified into three subquestions: *To what extent does the designed sequence mobilize the students' personal ideas about the studied phenomenon (death of fish due to dehydration)? How can the model for osmosis help to explain it? Is this knowledge useful for students to be able to explain similar phenomena (as those aforementioned)?*

The qualitative-interpretative methodology allows the analysis of the teaching practice and of what happens in the classroom when scientific practices are developed, by means of the assessment of students' responses to the tasks and the video recordings of the sessions.

Results show that the contextualization in a nearby problem generates a diversity of explanations among the students about the possible causes and coherence in relation to the tests, which they would need to prove or refute. The search for evidence to detect the real cause of death offers descriptive knowledge that conditions their explanations. Such knowledge becomes necessary for students to make sense of the designed simulation model for osmosis and to be useful for transference to other contexts.

Moreover, we want to highlight the importance of the use of the simulation model for osmosis as one of the main contributions of this design since not only does it help students explain what changes during the osmosis process, but also to build explanations of the dynamism of balance, focusing the students' attention on the fact that, when apparently nothing «happens», something is actually happening at the cellular level: the water that enters is the same as the water that comes out; and it is consistent with the explanation of the phenomena of dehydration or hyperhydration.

Based on these results, we can state that the sequence may be considered as a product of a design process that fulfils the following three quality criteria: First, the content and construct validity criterion, since the sequence is based on the students' alternative conceptions described in the theoretical framework, and it is framed in the inquiry and modelling approach. Secondly, it responds to the need to provide students with observable phenomena which favour the mobilization of their personal explanations, based on which we assess its effectiveness as a quality criterion for research. Finally, the sequence is the result of the cooperative work of teachers from two universities and from Compulsory Education, which makes it useful and practical.

