

Avanzando en la construcción del modelo de nutrición a través de la contextualización en el fenómeno

Araitz Uskola 

*Departamento Didáctica de la Matemática y de las Ciencias experimentales y sociales.
Universidad del País Vasco UPV/EHU. España. araitz.uskola@ehu.eus*

Teresa Zamalloa 

*Departamento Didáctica de la Matemática y de las Ciencias experimentales y sociales.
Universidad del País Vasco UPV/EHU. España. teresa.zamalloa@ehu.eus*

Ainara Achurra 

*Departamento Didáctica de la Matemática y de las Ciencias experimentales y sociales.
Universidad del País Vasco UPV/EHU. España. ainara.achurra@ehu.eus*

[Recibido: 12 diciembre 2024, Revisado: 18 marzo 2025, Aprobado: 9 mayo 2025]

Resumen: El modelo de nutrición humana es uno de los más relevantes en Biología, pero su comprensión presenta dificultades. Es por ello que las y los educadores recomiendan que el alumnado desarrolle prácticas de modelización que incluyan la representación del modelo. Se ha demostrado que el nivel en el que se expresa un modelo está influenciado por el contexto en el que se enmarca dicha representación. Sin embargo, aún no se ha investigado en profundidad cómo ayuda a la construcción del modelo el realizar representaciones contextualizadas a lo largo de una secuencia de modelización. Este estudio examina qué modelo de nutrición humana desarrolla el futuro profesorado (FP) de Educación Infantil cuando participa en una secuencia de modelización que incluye la realización de una maqueta contextualizada en el fenómeno. Se compararon las explicaciones escritas y dibujos finales de 47 FPs (Cohorte 2) con los de 32 FPs (Cohorte 1) que habían participado en la misma secuencia, pero sin que se incidiera en la contextualización de las maquetas. Además, se analizó cómo los y las FPs de la Cohorte 2 incorporaron el fenómeno al explicar sus maquetas. El FP de la Cohorte 2 mostró un modelo final de nutrición más desarrollado que el FP de la Cohorte 1. Es decir, el situar las maquetas en un contexto orientado al fenómeno facilitó una representación final del modelo más completa. Dicho fenómeno fue introducido principalmente en momentos intermedios de las explicaciones, haciendo de enlace entre los distintos procesos y dando sentido a la parte de la explicación que se desarrollaba a continuación.

Palabras clave: Contexto; Maquetas; Modelización; Nutrición; Representaciones.

Advancing in the construction of the nutrition model through contextualization in the phenomenon

Abstract: The human nutrition model is one of the most relevant models in Biology, but its understanding presents challenges. For this reason, educators recommend that students engage in modeling practices that include the representation of the model. It has been shown that the level at which a model is expressed is influenced by the context in which that representation is framed. However, it has not yet been thoroughly investigated how performing contextualized representations throughout a modeling sequence contributes to model construction. This study examines what model of human nutrition future early childhood education teachers (FTs) develop when they participate in a modeling sequence that includes creating a phenomenon-contextualized physical model. The written explanations and final drawings of 47 FTs (Cohort 2) were compared with those of 32 FTs (Cohort 1) who had participated in the same sequence but without insisting on the contextualization of the physical models. In addition, the study analyzed how FTs in Cohort 2 incorporated the phenomenon when explaining their physical models. The FTs from Cohort 2 showed a more developed final nutrition model than those from Cohort 1. That is, placing the physical models in a phenomenon-oriented context facilitated a more complete final representation of the model. The phenomenon was primarily introduced during intermediate stages of the explanations, serving as a link between different processes and giving meaning to the whole explanation.

Keywords: Context; Modeling; Models; Nutrition; Representations.

Para citar este artículo: Uskola, A., Zamalloa, T. y Achurra, A. (2025) Avanzando en la construcción del modelo de nutrición a través de la contextualización en el fenómeno. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 22(2), 2602. http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i2.2602

Introducción

Uno de los modelos relevantes en Biología es el de la nutrición humana; sin embargo, los y las estudiantes suelen presentar dificultades para comprenderlo (Granklint-Enochson et al., 2015; Nuñez y Banet, 1997). Estas dificultades suelen estar relacionadas con la necesidad de aplicar una visión sistémica, que implica considerar los componentes estructurales de los diversos sistemas involucrados y las interacciones entre estos componentes (Snapir et al., 2017). Para abordar este reto, investigadores y educadores abogan por incluir prácticas de modelización en la educación científica, ya que éstas facilitan el pensamiento sistémico en los y las estudiantes (Bielik et al., 2023). La creación de representaciones del modelo es una de las etapas de la modelización, y varias investigaciones han señalado que las representaciones pueden promover la comprensión de conceptos científicos (Ainsworth et al., 2011).

En concreto, se ha encontrado que el grado en que estas representaciones reflejan el modelo mental de los y las estudiantes puede estar condicionado por el contexto en que se sitúa dicha representación (Khwaja y Saxton, 2001; Heredia et al., 2016). En el ámbito de la nutrición humana, se ha hallado que cuando el contexto dado para dibujar y explicar está vinculado al fenómeno, estas representaciones reflejan el modelo de forma más completa (Zamalloa et al., 2023). Este estudio aborda cómo realizar representaciones contextualizadas en el fenómeno a lo largo de una secuencia de modelización puede facilitar al alumnado la construcción de un modelo adecuado al modelo científico.

El desafío de comprender la nutrición humana

La comprensión de la nutrición humana no resulta fácil para el alumnado, ya que requiere integrar conceptos sobre el transporte y la transformación de sustancias a través de varios sistemas interconectados y dinámicos (Hmelo-Silver y Azevedo, 2006). Como señalan Snapir et al. (2017, p. 2095), el cuerpo humano es «una entidad que consiste en un gran número de estructuras, a diferentes niveles de organización (micro y macro), en las que ocurren diversos procesos». Esto requiere entender no sólo la estructura del sistema, sino también las interacciones entre los elementos estructurales y los resultados de dichas interacciones (Bechtel y Abrahamsen, 2005; Goldstone y Wilensky, 2008). En respuesta a la complejidad de desarrollar un pensamiento sistémico en torno a un fenómeno, Hmelo-Silver et al. (2017) desarrollaron el marco Componentes-Mecanismos-Fenómenos (CMP), que facilita la comprensión sistémica al clasificar los elementos de un sistema en Componentes del sistema, los procesos o Mecanismos interrelacionados que ocurren entre ellos y los resultados/manifestaciones de estos procesos o Fenómenos.

Este marco CMP ha resultado particularmente útil para identificar y analizar los errores más comunes en la comprensión de sistemas del cuerpo humano (Snapir et al., 2017). Entre los errores asociados a la nutrición humana, destaca el restringir la nutrición únicamente a los órganos digestivos y respiratorios (Componentes) (Reiss y Tunnicliffe, 2001), así como en localizar los órganos sin establecer conexiones entre ellos (Componentes). Esto impide comprender sus respectivas funciones (Mecanismos) (Aydın, 2016; Cuthbert, 2000; Özsevgeç, 2007; Reiss et al., 2002). Asimismo, la transferencia de

energía en la célula (comúnmente denominada obtención de energía) y su uso (Fenómeno) también presenta desafíos (Uskola et al., 2024).

La dificultad de entender las interrelaciones entre conceptos es mayor que la de comprender los conceptos de forma aislada (Lin y Hu, 2003), lo que probablemente lleva a menudo a una enseñanza-aprendizaje del cuerpo humano y sus sistemas de manera separada. Como resultado, muchos estudiantes finalizan su educación primaria y secundaria con una comprensión incompleta de la nutrición humana (García-Barros et al., 2011; Granklint-Enochson et al., 2015; Nuñez y Banet, 1997). Además, el sistema excretor suele ser completamente ignorado, lo que genera una falta de conocimiento general sobre su funcionamiento (Hutagol y Haarsono, 2016; Rivadulla, 2013).

Avanzar en la enseñanza de la nutrición humana requiere superar enfoques de enseñanza reduccionistas basados únicamente en la memorización de los nombres de los órganos (Landinho et al., 2022). Así, el progreso en la construcción de un modelo mental de la nutrición debe ir acompañado del desarrollo de las habilidades necesarias para explicar fenómenos desde una visión sistémica. En este sentido, educadores e investigadores abogan por que los y las estudiantes desarrollen prácticas de modelización (Bielik et al., 2023; Hmelo-Silver et al., 2017; Shin et al., 2022).

Modelización para el aprendizaje de las ciencias

La modelización se puede definir de diversas maneras (Oliva, 2019). Así, Schwarz et al. (2009) la definen como construcción, utilización, evaluación y revisión de modelos científicos. Los modelos pueden definirse como representaciones de la realidad utilizadas para explicar y predecir fenómenos científicos (Gilbert et al., 2000; Oliva, 2019). En la práctica de modelización escolar, el o la estudiante atraviesa diversas fases en las que, partiendo de un modelo inicial, lo expresa y utiliza, lo evalúa, lo revisa, lo consensua con sus compañeros y, finalmente, aplica el modelo revisado (Garrido y Couso, 2024). Así, la modelización implica representar el modelo (Gilbert y Justi, 2016; Schwarz et al., 2009), lo que promueve una reflexión más profunda sobre el modelo y facilita el aprendizaje de las ciencias (Prain y Tytler, 2012; Tytler et al., 2020).

Las representaciones pueden realizarse en varios modos según Gilbert (2005): (1) el modo visual es bidimensional e incluye diagramas, gráficos, así como representaciones realizadas por ordenadores o modos virtuales; (2) el modo concreto o material es tridimensional y construido con materiales; (3) el modo simbólico consta de símbolos, fórmulas, ecuaciones y otras expresiones matemáticas; (4) el modo verbal puede ser hablado o escrito; y (5) el modo gestual consiste en mover el cuerpo o sus partes. Diferentes representaciones pueden utilizarse para representar un mismo fenómeno, lo que constituye la noción de multimodalidad en la construcción de modelos científicos escolares, con la que se alinea el presente estudio. En el aula de ciencias, esta diversidad de representaciones permite a los y las estudiantes organizar, integrar y profundizar en su comprensión de los fenómenos estudiados (Prain y Tytler, 2021). En concreto, los dibujos abordan las demandas visuales-espaciales y complementan las explicaciones orales y escritas (Ainsworth et al., 2011). De este modo, los dibujos facilitan la organización de ideas, la integración de nuevos conocimientos (Gómez y Gavidia, 2015), el avance en el razonamiento (De Andrade et al., 2022) y la mejora de la comprensión de fenómenos naturales (Dempsey y Betz, 2001). Las maquetas se utilizan particularmente para mediar entre fenómenos del mundo real y modelos teóricos (Adúriz-Bravo et al., 2005; Oh y Oh, 2011). En este sentido, Gómez et al. (2007), Bahamonde y Gómez (2016) y Uskola et al. (2024) destacaron la efectividad de construir maquetas, y García y Mateos (2018) concluyeron que los y las estudiantes que

habían construido una maqueta desarrollaron su capacidad para visualizar la anatomía humana más que aquellos y aquellas que solo habían trabajado con imágenes. Con respecto a las explicaciones orales, diversos campos como la lingüística, la psicología cognitiva, la epistemología y las ciencias sociales han señalado cómo los modelos mentales, basados en el conocimiento adquirido, guían la forma en que interpretamos y producimos explicaciones (Van Dijk, 2010). Cuando producimos una explicación oral, partimos de un modelo mental que guía la forma en que transmitimos el contenido específico en un contexto determinado. Dichas explicaciones buscan hacer comprensible o claro, eliminando lo confuso o difícil, y se construyen no a partir de datos y argumentos, sino a partir de modelos y representaciones de la realidad (Osborne y Patterson, 2011). Por tanto, construir explicaciones orales como secuencias coherentes de oraciones, implica crear modelos mentales de las situaciones a las que se refieren que conecten con el conocimiento y que se ajusten al contexto (Van Dijk, 2010). Es más, como en el resto de modos de representación, al verbalizar tales modelos, estos pueden ser sometidos a evaluación y revisión, especialmente cuando son discutidos con otras personas, siendo la conversación una herramienta efectiva para dar forma al pensamiento (Sigman, 2024).

El contexto utilizado o las pautas proporcionadas pueden influir en cómo los y las estudiantes representan su modelo y, por lo tanto, en cómo lo construyen. De hecho, uno de los objetivos del aprendizaje basado en contextos es permitir que el alumnado establezca conexiones y relaciones coherentes entre los conceptos científicos a partir del contexto (Gilbert, 2006). El grado en que las representaciones reflejan el modelo mental de los y las estudiantes puede estar condicionado por el contexto en que se sitúa dicha representación (Khwaja y Saxton, 2001; Heredia et al., 2016). Así, en un estudio previo (Zamalloa et al., 2023) cuando, tras participar en una secuencia de modelización, el contexto dado para dibujar y explicar se refería al fenómeno, estas representaciones reflejaron el modelo de forma más completa (Zamalloa et al., 2023). Sin embargo, todos los estudios anteriores abordaron cómo el contexto influye en la representación final del modelo, pero no cómo situar las distintas actividades realizadas a lo largo de la secuencia de modelización en un contexto referido al fenómeno impacta en el aprendizaje. Esta es una perspectiva más actual de la enseñanza basada en el contexto, y en ella el contexto juega tanto funciones de motivación como de aplicación del conocimiento (Blanco, 2024). Este estudio aborda cómo realizar representaciones contextualizadas en el fenómeno a lo largo de una secuencia de modelización sobre nutrición facilita al alumnado la construcción de un modelo adecuado al modelo científico.

Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación que guían este trabajo son:

PI1. ¿Qué modelo de nutrición humana desarrolla el futuro profesorado (FP) cuando participa en una secuencia de modelización contextualizada en el fenómeno?

PI2. ¿De qué manera incorpora el FP el fenómeno en sus representaciones intermedias?

Metodología

Este estudio investigó cómo el FP representó el modelo de nutrición humana tras participar en una secuencia de modelización que incluyó la construcción y explicación de una maqueta. Los datos consistieron en dibujos y textos escritos (tal como lo recomiendan Fančovičova y Prokop, 2019) elaborados al final de la secuencia, abordando dos contextos diferentes: uno relacionado con la intolerancia a la lactosa (Contexto 1-IL) y el otro con el

correr (Contexto 2-C). Además, se analizaron las maquetas junto con sus respectivas explicaciones orales. Todos los datos se categorizaron de acuerdo con el marco CMP (Hmelo-Silver et al., 2017) para una visión sistémica de la nutrición humana. Se adoptó un enfoque de métodos mixtos (Creswell, 2012) que incluyó análisis cuantitativos y cualitativos de los datos (dibujos, textos escritos, maquetas y explicaciones orales).

Participantes

Los y las participantes fueron FPs que cursaban el tercer año del Grado en Educación Infantil en la Facultad de Educación de Bilbao de la Universidad del País Vasco UPV/EHU durante los cursos 2021/22 y 2022/23. Concretamente, cursaban la única asignatura en Didáctica de las Ciencias Experimentales en el Grado. Las cohortes incluyeron un total de 32 participantes en el curso 2021/22 (Cohorte 1) y 47 en el curso 2022/23 (Cohorte 2). La mayoría de los participantes fueron mujeres (únicamente 6 hombres en Cohorte 2). En ambas cohortes, la profesora fue la segunda autora del trabajo. Los y las participantes fueron seleccionados por conveniencia, provenientes de 2 clases en la Cohorte 1 y otras 2 clases en la Cohorte 2. Todos y todas dieron su consentimiento informado para participar en la investigación. Sus nombres fueron anonimizados, codificándolos como FP1-1 a FP1-32 en la Cohorte 1 y FP2-1 a FP2-47 en la Cohorte 2. Los grupos se denominaron G2-1 a G2-15.

Secuencia de enseñanza-aprendizaje

La secuencia se estructuró en varias fases, tomando como referencia a Schwarz et al. (2009). Estas fases incluyeron la representación del modelo en forma de dibujos, maquetas y dramatizaciones, junto con su posterior evaluación y revisión (como se describe en Achurra et al., 2023 y Uskola et al., 2024). En el cuestionario inicial, sobre una silueta del cuerpo humano, los y las participantes expresaron sus modelos iniciales escribiendo y dibujando los elementos y procesos involucrados en la intolerancia a la lactosa (Contexto 1-IL).

Después de buscar información en grupos de tres a cinco miembros, los y las FPs revisaron sus modelos iniciales bajo la guía de la profesora. Se trata de una búsqueda de información abierta y autónoma por parte de los FP, con la recomendación de usar libros de texto de primaria y secundaria. En la puesta en común, los y las FPs compartieron la información en grupo grande, de forma que se fue construyendo un modelo de forma conjunta. La profesora guió hacia el consenso, fomentando el debate, interviniendo cuando se omitieron ideas o estas eran incorrectas, reincidiendo en ideas clave, etc. Una vez alcanzado un consenso, los y las FPs realizaron una dramatización de la nutrición en grupos grandes (de 20 a 25 FPs) supervisados por la profesora. Para ello, los y las FPs dibujaron una silueta corporal (aproximadamente de 5 metros) en el suelo y actuaron como componentes para representar procesos y fenómenos implicados. Posteriormente, en pequeños grupos, representaron su modelo consensuado en una maqueta utilizando un torso de yeso de tamaño natural (Achurra et al., 2023), y crearon un vídeo en el que explicaron la nutrición humana utilizando dicha maqueta.

Finalmente, se pidió a los FPs que dibujaran y explicaran los elementos involucrados en dos contextos (cuestionario final). El Contexto 1-IL incluía la instrucción «¿Qué sucede en tu cuerpo cuando bebes leche si eres intolerante? Dibuja y explica los elementos y procesos». El Contexto 2-C contenía la instrucción «Has corrido y tu ritmo cardíaco ha aumentado. Indica qué ha sucedido en tu cuerpo. Dibuja y explica los elementos, recorridos y procesos que han ocurrido». Dado que en la Cohorte 1 las representaciones

habían sido incompletas, en la Cohorte 2 la profesora hizo mayor hincapié en que la maqueta debía incluir todos los sistemas involucrados y que debía reflejar para qué se estaba utilizando la energía (orientada al fenómeno). Esta acción está en línea con lo realizado por Penner et al. (1997, 1998), quienes constataron que al implementar por segunda vez de una secuencia que incluía la construcción de una maqueta y donde el profesor hizo mayor hincapié en los mecanismos implicados, se obtuvieron mejores resultados (Penner et al., 1998). Asimismo, se alinea con Passmore et al. (2014), que propusieron reformular la pregunta relacionándola con el fenómeno de manera más explícita: «¿Cómo es que un codo te permite levantar algo?».

Recopilación y análisis de datos

Para abordar la PI1, se analizaron las explicaciones escritas y los dibujos individuales realizados al final de la secuencia de modelización de las dos cohortes. El análisis se realizó de acuerdo con el marco CMP propuesto por Hmelo-Silver et al. (2017) adaptado a la tarea (Tabla 1).

Tabla 1. Categorías y niveles para el análisis de datos.

Categoría	Variable	Niveles
Componentes	Macro C1-número de cajas (sistemas digestivo, respiratorio, circulatorio y excretor y órganos y células)	1-5
	C2-conexiones entre cajas	1-4
	Micro C3-presencia /ausencia de O ₂	0-1
	C4- presencia/ausencia de CO ₂	
	C5- presencia/ausencia de nutrientes	
	C6- presencia/ausencia de productos de excreción	
Mecanismos	M1-entrada de O ₂	0-1
	M2-entrada de nutrientes	
	M3-salida de CO ₂	
	M4-salida de productos de excreción	
	M5-respiración celular	
	M6-difusión y transporte de O ₂	0-2
	M7-difusión y transporte de CO ₂	
	M8-absorción y transporte de nutrientes	
	M9-filtración y transporte de productos de excreción	
Fenómenos	P1-energía	0-1
	P2-nutrientes como Fuente de energía	
	P3-O ₂ para obtención de energía	
	P4-obtener energía	
	P5-uso de energía	

Los componentes podían ser macroscópicos o microscópicos. Para los primeros, se establecieron niveles en función del número de sistemas involucrados y del número de conexiones entre dichos sistemas. Se consideraba que un sistema estaba presente incluso si solo se mencionaba un órgano. En el caso de los componentes microscópicos, se evaluó la presencia de O₂, CO₂, nutrientes y productos de excreción. En cuanto a los mecanismos, se evaluaron los procesos de entrada, salida y los procesos internos de los componentes microscópicos. Los fenómenos son el resultado de los mecanismos operativos (Snapir et

al., 2017). Por lo tanto, en el presente trabajo, se incluyeron como fenómenos aquellos conceptos relacionados con la energía.

Las autoras han adquirido experiencia en analizar dibujos, explicaciones escritas y maquetas durante los últimos 7 años. En este caso, los dibujos junto con las explicaciones escritas fueron evaluados de forma independiente por las autoras, y se discutieron las dudas hasta alcanzar un consenso.

Dado que en la Cohorte 2 la profesora había incidido en que se contextualizaran las maquetas en el fenómeno, se compararon los resultados de ambas cohortes. Así, se calcularon medidas de tendencia central (media y mediana), dispersión (desviación estándar) y distribución de frecuencias en ambos contextos para todas las variables (Tabla 1). Se llevaron a cabo pruebas U de Mann-Whitney para evaluar estadísticamente las diferencias entre ambas cohortes. El tamaño del efecto se midió utilizando los valores d de Cohen, que se calcularon para comparaciones emparejadas significativas ($p < .05$) a partir de los valores z obtenidos en las pruebas U de Mann-Whitney. Antes de realizar las pruebas, se verificó la normalidad mediante gráficos Q-Q. Todos los análisis se realizaron en SPSS, y se utilizó la calculadora Psychometrica para el análisis del tamaño del efecto (Lenhard y Lenhard, 2016).

Con el fin de garantizar la comparabilidad de ambas cohortes, se comparó el desempeño de la Cohorte 1 y la Cohorte 2 en el cuestionario inicial. Para este propósito, solo se utilizaron las variables referidas a Componentes Macro: número de cajas (C1) y número de conexiones entre cajas (C2). Para ello, se realizó la Prueba de Levene para la Igualdad de Varianzas.

Para abordar la PI2, en primer lugar, se analizaron las representaciones multimodales (vídeos de maquetas y sus explicaciones orales) de los 15 grupos de la Cohorte 2, es decir, aquella en la que se ha incidido en contextualizar las representaciones en el fenómeno. Se presentan resultados de aquellos grupos que mencionaron el fenómeno de obtención y uso de energía (12 grupos). Este análisis se realizó identificando en su discurso la presencia de los mecanismos y fenómenos. Se caracterizó, para el discurso de cada grupo, la secuencia cronológica de los sistemas a los que se referían, así como las referencias al fenómeno. El discurso de los grupos fue analizado, en primer lugar, de manera independiente por las investigadoras, del mismo modo que las producciones individuales. Sin embargo, en este caso, todos los análisis fueron posteriormente compartidos y discutidos entre las tres investigadoras, no solo los casos de duda.

Resultados

Modelo de nutrición humana desarrollado. Comparación de cohortes (PI1)

En el momento inicial las cohortes fueron homogéneas respecto al modelo de nutrición humana desarrollado. Los resultados de la tabla 2 indican que la diferencia entre las medias obtenidas por la Cohorte 1 y la Cohorte 2 es 0,1 para la variable número de cajas (C1) y 0,01 para la variable número de conexiones entre cajas (C2) en el Contexto1-IL. Según las puntuaciones, la gran mayoría del FP de las Cohortes 1 y 2 se encuentra en un nivel elemental, con una sola caja (correspondiente al sistema digestivo). Esto fue probado estadísticamente ($p > 0,05$) mediante la Prueba de Levene para la Igualdad de Varianzas: $F(1,74) = 2,321$ para la variable número de sistemas; y $F(1,74) = 0,205$ para la variable número de conexiones. Es decir, ambas cohortes tienen varianzas homogéneas.

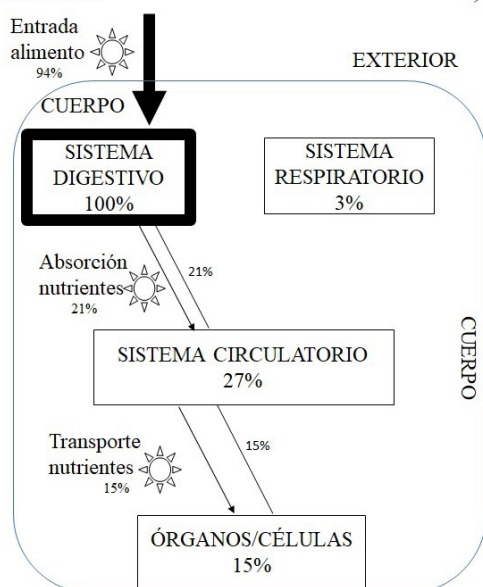
Tabla 2. Media y desviación estándar en Cohorte 1 y Cohorte 2 en el cuestionario inicial correspondiente al Contexto 1-IL. C1: número de cajas; C2: número de conexiones entre cajas.

Variable	Cohorte	N	Media	Desviación estándar	Error estándar
Número de cajas (C1)	Cohorte 1	32	1,00	0,44	0,08
	Cohorte 2	44	1,11	0,49	0,07
Número de conexiones entre cajas (C2)	Cohorte 1	32	0,03	0,18	0,03
	Cohorte 2	44	0,02	0,15	0,02

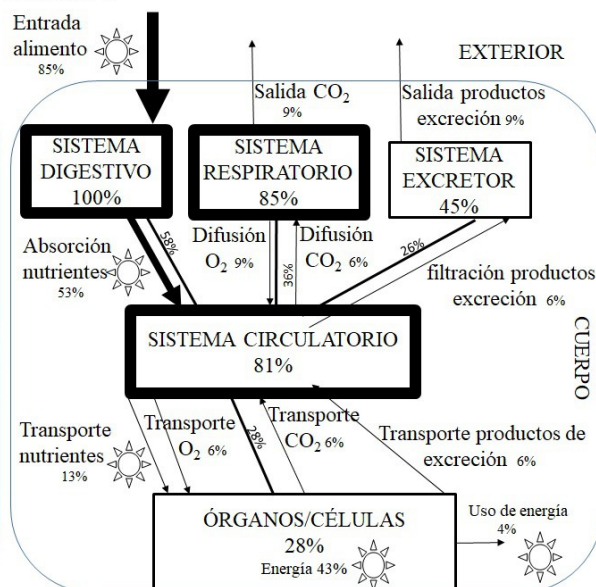
La Figura 1 muestra la representación esquemática del modelo de nutrición humana, tal como fue representado por los y las FPs en Cohorte 1 y Cohorte 2 en sus dibujos finales y explicaciones escritas para ambos contextos (Contexto 1-IL, Contexto 2-C). El esquema indica el porcentaje de FPs que se refieren a cada uno de los elementos del modelo científico a alcanzar por el FP (Zamalloa et al., 2023). Este incluye los aspectos considerados esenciales para la comprensión de la nutrición humana como un conjunto de sistemas, elementos y procesos integrados (adaptado de Nuñez y Banet, 1997).

CONTEXTO1-IL (Intolerancia a la lactosa)

a) Cohorte 1

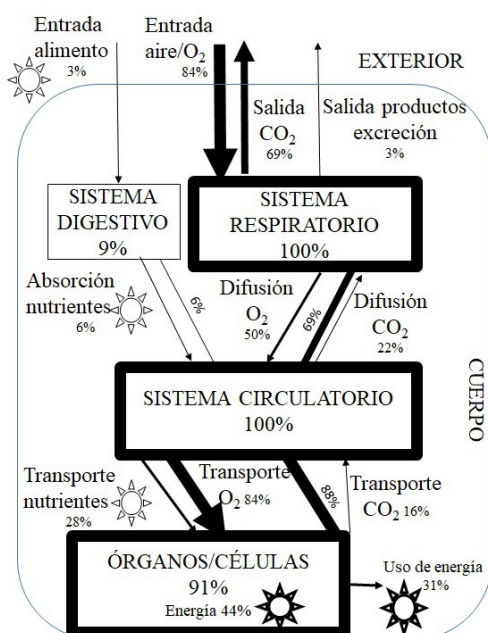


b) Cohorte 2



CONTEXTO 2-C (correr)

a) Cohorte 1



b) Cohorte 2

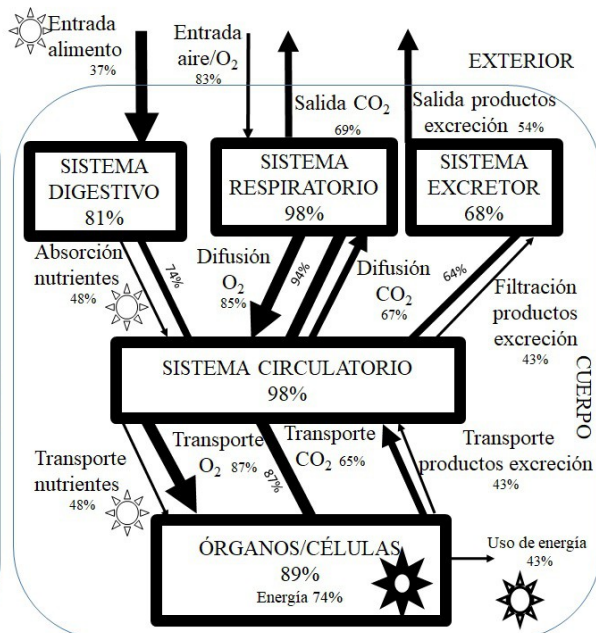


Figura 1. Representación esquemática del modelo de nutrición humana mostrado por los FPs en sus dibujos y explicaciones escritas finales. *Nota.* a) Contexto1-IL en Cohorte1; b) Contexto1-IL en Cohorte2; c) Contexto2-C en Cohorte1; d) Contexto2-C en Cohorte2. Se muestra el porcentaje de FP que representó cada elemento. El grosor de las líneas representa el cuartil: 0-25%, 25-50%, 50-75% y 75-100%. Los cuadros representan los sistemas implicados, las líneas entre cuadros ilustran relaciones entre sistemas y las flechas, el transporte y otros procesos que sufren los componentes y el sol representa la energía.

Como se puede observar en la Figura 1, el modelo de nutrición humana representado mostró diferencias tanto entre contextos como entre cohortes. En la Cohorte 1, la mayoría de los y las FPs en el Contexto 1-IL (Figura 1a) solo se refirieron a los nutrientes y al sistema digestivo, y de manera leve a su relación con el sistema circulatorio. El sistema

respiratorio fue mencionado solo por el 7% y no se vinculó con ningún proceso ni con ningún otro sistema. Los mismos FPs (Cohorte 1) en el Contexto 2-C (Figura 1c) se centraron en el sistema respiratorio y sus componentes y procesos. Aunque reflejaron que tanto el oxígeno como los nutrientes llegan a las células para producir energía, muchos no representaron la entrada de nutrientes y procesos digestivos. Ningún FP de la Cohorte 1 mencionó el sistema excretor en ningún contexto. Sin embargo, el sistema excretor fue mencionado por los y las FPs en ambos contextos en la Cohorte 2 (Figuras 1b y 1d). De hecho, la presencia de todos los elementos aumentó en la Cohorte 2 para los dos contextos, como muestran las Figuras 1b y 1d. A pesar de los mejores resultados en la Cohorte 2 para ambos contextos, fue en el Contexto 2-C (Figura 1d) donde una mayor proporción de FPs mostró un modelo de nutrición humana más completo. En la figura 2 se muestra el ejemplo de las respuestas dadas por FP2-9.

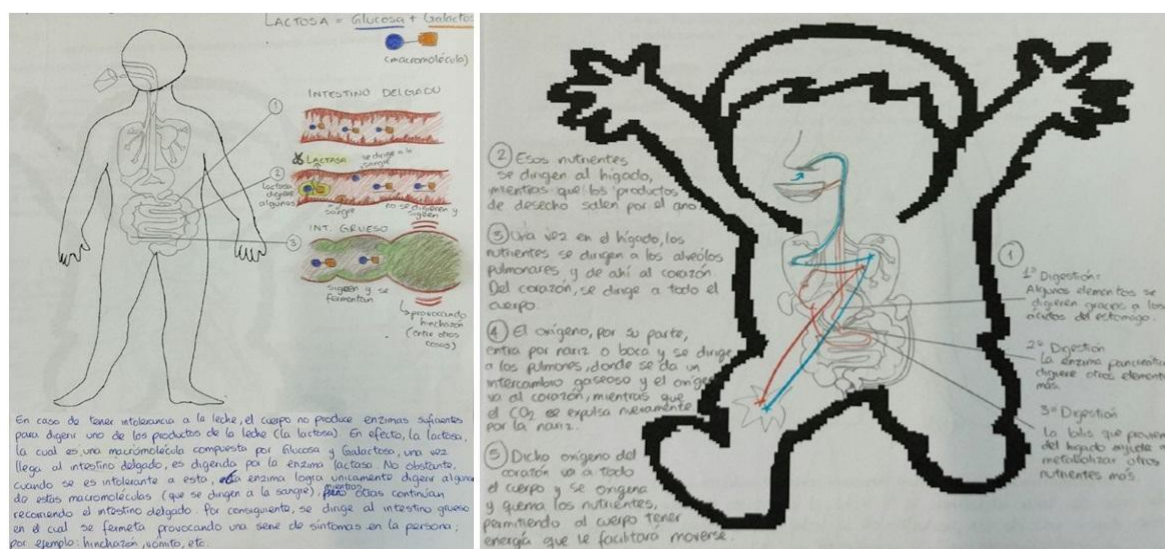


Figura 2. Dibujos y explicaciones escritas finales realizadas por FP2-9.

Los análisis estadísticos respaldaron estos resultados (tabla 3). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la Cohorte 1 y la Cohorte 2, principalmente en el Contexto 2-C (los valores de d de Cohen fueron casi todos superiores a 0,6 en el Contexto 2-C). Es decir, los FPs de la Cohorte 2 tuvieron un mejor rendimiento que aquellos de la Cohorte 1.

Tabla 3. Resultados estadísticos de variables con diferencias significativas entre Cohorte 1 y Cohorte 2.

Variable	p	U de Mann-Whitney	d Cohen	$M / Mdn / DS / min / max$
COMPONENTES				
C1	<,001	1349,500	1,812	Cohorte 1: 3 / 3 / 0,44 / 2 / 4
Contexto 2-C				Cohorte 2: 4,33 / 5 / 1,01 / 1 / 5
C1	<,001	1304,500	1,584	Cohorte 1: 1,47 / 1 / 0,84 / 1 / 4
Contexto 1-IL				Cohorte 2: 3,38 / 3 / 1,29 / 1 / 5
C2	<,001	1316,500	1,641	Cohorte 1: 1,62 / 2 / 0,75 / 0 / 3
Contexto 2-C				Cohorte 2: 3,10 / 4 / 1,18 / 0 / 4

Nota. Solamente se muestran resultados significativos ($p < 0,05$). C1: número de sistemas; C2: número de conexiones; C5: nutrientes; C6: productos de excreción; M2: entrada de nutrientes; M4: salida de productos de excreción; M76: difusión y transporte de CO₂; M7: absorción y transporte de nutrientes; M8: filtración y transporte de productos de excreción; P1: energía; P2: nutrientes como fuente de energía; P4: obtener energía; P5: usar energía.

Tabla 3. Continuación.

Variable	<i>p</i>	U de Mann-Whitney	d Cohen	<i>M / Mdn / DS / min / max</i>
COMPONENTES				
C2 Contexto 1-IL	,004	1014,000	0,616	Cohorte 1: 0,38 / 0 / 0,71 / 0 / 2 Cohorte 2: 1,36 / 1 / 1,61 / 0 / 4
C5 Contexto 2-C	<,001	1146,000	0,987	Cohorte 1: 0,38 / 0 / 0,49 / 0 / 1 Cohorte 2: 0,84 / 1 / 0,37 / 0 / 1
C6 Contexto 2-C	<,001	1255,500	1,372	Cohorte 1: 0,03 / 0 / 0,18 / 0 / 1 Cohorte 2: 0,63 / 1 / 0,49 / 0 / 1
MECANISMOS				
M2 Contexto 2-C	<,001	1047,500	0,704	Cohorte 1: 0,03 / 0 / 0,18 / 0 / 1 Cohorte 2: 0,37 / 0 / 0,49 / 0 / 1
M4 Contexto 2-C	<,001	1168,000	1,057	Cohorte 1: 0 / 0 / 0 / 0 / 0 Cohorte 2: 0,49 / 0 / 0,51 / 0 / 1
M7 Contexto 2-C	<,001	1149,500	0,998	Cohorte 1: 0,38 / 0 / 0,75 / 0 / 2 Cohorte 2: 1,27 / 2 / 0,95 / 0 / 2
M8 Contexto 2-C	,012	1016,500	0,623	Cohorte 1: 0,34 / 0 / 0,60 / 0 / 2 Cohorte 2: 0,82 / 1 / 0,86 / 0 / 2
M9 Contexto 2-C	<,001	1168,000	1,057	Cohorte 1: 0 / 0 / 0 / 0 / 0 Cohorte 2: 0,89 / 0 / 0,96 / 0 / 2
FENÓMENOS				
P1 Contexto 2-C	,013	1001,000	0,583	Cohorte 1: 0,44 / 0 / 0,50 / 0 / 1 Cohorte 2: 0,71 / 1 / 0,46 / 0 / 1
P1 Contexto 1-IL	,037	848,000	0,217	Cohorte 1: 0 / 0 / 0 / 0 / 0 Cohorte 2: 0,13 / 0 / 0,34 / 0 / 1
P2 Contexto 2-C	,002	1038,000	0,679	Cohorte 1: 0,13 / 0 / 0,34 / 0 / 1 Cohorte 2: 0,45 / 0 / 0,50 / 0 / 1
P4 Contexto 2-C	,009	1012,500	0,612	Cohorte 1: 0,22 / 0 / 0,42 / 0 / 1 Cohorte 2: 0,51 / 1 / 0,51 / 0 / 1
P4 Contexto 1-IL	,037	848,000	0,217	Cohorte 1: 0 / 0 / 0 / 0 / 0 Cohorte 2: 0,13 / 0 / 0,34 / 0 / 1
P5 Contexto 2-C	<,001	1119,000	0,905	Cohorte 1: 0,06 / 0 / 0,25 / 0 / 1 Cohorte 2: 0,49 / 0 / 0,51 / 0 / 1

Nota. Solamente se muestran resultados significativos ($p < ,05$). C1: número de sistemas; C2: número de conexiones; C5: nutrientes; C6: productos de excreción; M2: entrada de nutrientes; M4: salida de productos de excreción; M7: difusión y transporte de CO₂; M7: absorción y transporte de nutrientes; M8: filtración y transporte de productos de excreción; P1: energía; P2: nutrientes como fuente de energía; P4: obtener energía; P5: usar energía.

Incorporación del fenómeno en las explicaciones del modelo de nutrición (PI2)

Los grupos G2-9, G2-10 y G2-15 no mencionaron el fenómeno en ningún momento de su discurso. G2-5 lo incluyó de forma incorrecta, al referirse al pulmón como lugar donde se da la respiración celular. En concreto, explicaron que los compuestos digeridos se juntan en el pulmón con el oxígeno para así poder «crear energía».

Las descripciones de las explicaciones de las maquetas del resto de grupos se muestran en el [Material suplementario 1](#). La figura 3 recoge una representación gráfica de la secuencia cronológica de los procesos mencionados. Se han destacado en amarillo las referencias al fenómeno.

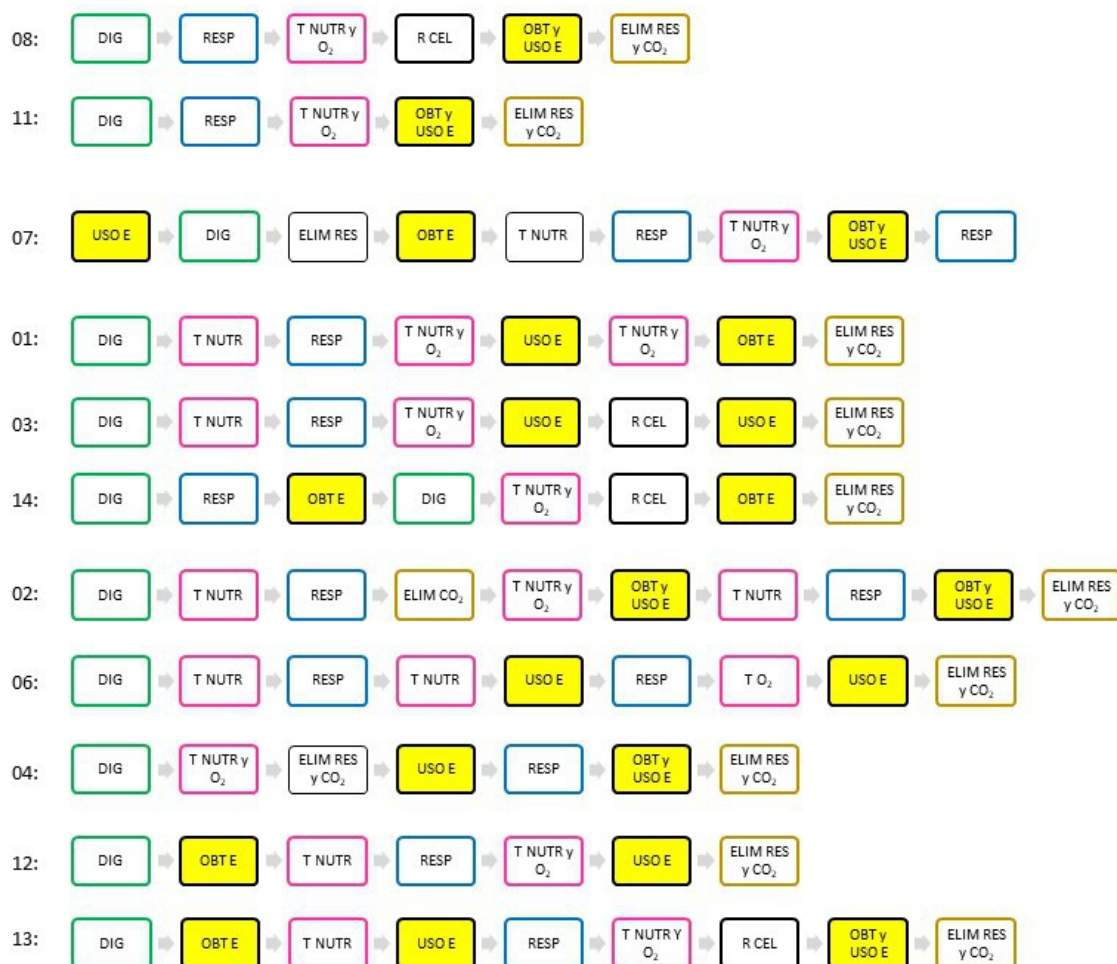


Figura 3. Representación gráfica de la secuencia cronológica de los procesos mencionados por los grupos en sus explicaciones orales. *Nota:* NUTR: nutrientes; RES: residuos; DIG: procesos de digestión; T: transporte; RESP: procesos respiratorios; ELIM: eliminación; R CEL: respiración celular; OBT E: obtención de energía; USO E: uso de energía.

Como se ve en la figura 3, los 11 grupos mencionaron el fenómeno de dos formas diferentes atendiendo al momento en el que lo hicieron dentro de la secuencia de procesos. Así, dos grupos (G2-8 y G2-11) mencionaron el fenómeno al finalizar la explicación de cómo los nutrientes y el oxígeno se introducen en el cuerpo, se absorben y llegan a las células, mientras que 9 grupos (el resto de grupos en la figura 3) se refirieron al fenómeno también en algún momento anterior de la explicación.

El fenómeno únicamente tras llegar a la célula

G2-8 y G2-11 fueron los grupos que mencionaron la obtención de energía y/o el uso de la misma al final del recorrido, en la célula. Así, el grupo G2-8 explicó los procesos necesarios para que los nutrientes y el oxígeno llegaran a las células, advirtiendo desde el principio que suceden a la vez. Una vez los nutrientes y el oxígeno estuvieron localizados en las células, el grupo describió la respiración celular, mencionando el uso de energía

para, por ejemplo, mover un brazo. G2-8 finalizó su explicación describiendo los procesos necesarios para eliminar los productos generados en dicha reacción química a través del circulatorio, excretor y respiratorio. En el caso del G2-11, mencionó que se obtiene energía (que se usa, por ejemplo, para mover el brazo) con los nutrientes y el oxígeno, aunque no explicó el mecanismo por el que ésta se produce, ni lo relacionó con la generación de dióxido de carbono.

Mención al fenómeno a lo largo de la secuencia de procesos

G2-7 fue el único grupo que se refirió al fenómeno en el inicio de su explicación. Concretamente, explicó que los nutrientes de la leche son necesarios «para nuestras células para poder realizar las tres funciones vitales». No fue la única vez que mencionó el fenómeno, ya que tras hacer llegar el oxígeno y los nutrientes a las células, lo repitió: «donde se convertirán en energía para nuestras células y para poder desempeñar funciones de nuestro día». Terminó su discurso explicando parte de la respiración.

El grupo G2-1 comenzó describiendo los procesos de digestión de la leche y respiración pulmonar. Una vez los nutrientes y el oxígeno se encontraban en el torrente sanguíneo mencionó el fenómeno, en este caso, el uso de la energía, al indicar que se iba «a centrar en lo que sucedería al mover el brazo». En este caso, la referencia al fenómeno sirvió para justificar el transporte de nutrientes y oxígeno al órgano que necesita energía. A continuación, el grupo explicó dicho transporte y el proceso de obtención de energía y su uso, así como la eliminación de productos de desecho por parte del aparato excretor y por el respiratorio. Lo mismo ocurrió en el caso del grupo G2-3, donde el fenómeno surgió también una vez que los nutrientes y el oxígeno ya estaban en el torrente sanguíneo «los nutrientes y el oxígeno se dirigen al corazón que los bombea hasta la célula del brazo que quiere mover». G2-14 estructuró su discurso de forma similar y, tras hablar de la respiración pulmonar, relacionó el oxígeno con la respiración celular para la que iba a ser necesario. El grupo hizo explícita (más adelante en su discurso) la relación de la respiración celular con la obtención de energía.

En el caso del grupo G2-2, el grupo dio una primera explicación narrando el recorrido y procesos de nutrientes y oxígeno hasta mencionar su transporte a la célula. En dicho momento, mencionó la obtención de energía y el papel del oxígeno en la misma: «Y es que no respiramos para hacer el intercambio gaseoso, sino para poder aprovechar esos nutrientes para oxidar su energía que sin oxígeno no es posible». Una vez que G2-2 puso de manifiesto el fenómeno y la necesidad del oxígeno, volvió a explicar los procesos anteriores teniendo en cuenta este objetivo: «Por eso la sangre con nutrientes y sin oxígeno pasa por el corazón y de ahí va el pulmón para oxigenarse, es decir, coger oxígeno». A continuación, en la célula, G2-2 explicó que «junto con ese oxígeno se extraerá la energía química de las moléculas que han llegado, es decir, se oxidará en las moléculas y la energía se usará en este caso para mover el brazo». De forma similar, el grupo G2-6 inició su explicación con la digestión; una vez los nutrientes estaban en la sangre, introdujo una breve explicación sobre la respiración con el objetivo de localizar el oxígeno también en la sangre. En ese momento, mencionó el fenómeno por primera vez: «la sangre va a las partes del cuerpo que necesitan estos nutrientes para funcionar». Seguidamente, explicó los procesos respiratorios que permiten llegar al oxígeno a «las partes del cuerpo que lo necesitan». Mencionó el fenómeno una segunda vez, en esta ocasión haciendo referencia a la energía y a la respiración celular. El grupo explicó la eliminación de residuos a través de procesos del circulatorio, excretor y respiratorio.

El grupo G2-4 que también comenzó explicando el proceso de digestión, continuó con una explicación de funcionamiento del corazón donde mencionaron la sangre oxigenada (sin indicar la procedencia del oxígeno). En ese momento, dejó de lado la maqueta y utilizando otros modos de representación (imagen de una persona humana durmiendo) introdujo el fenómeno en su discurso, en este caso las distintas necesidades de energía para realizar diferentes actividades y a la necesidad de oxígeno: «cuando corremos notamos que nuestro corazón late a mayor velocidad. De esta manera, consigue transportar más sangre en el mismo periodo de tiempo. Esto junto a la respiración acelerada en la que cogemos más cantidad de oxígeno del habitual conlleva a tener más energía». Posteriormente, y ya utilizando la maqueta, el grupo retomó la llegada de los nutrientes al torrente sanguíneo y explicaron la entrada de oxígeno en el cuerpo y su encuentro con los nutrientes. Ahí explicaron la obtención y uso de la energía.

G2-12 se refirió a la obtención de energía al mencionar los nutrientes: «estos son los nutrientes que necesita el cuerpo, esto es, energía». Sin embargo, en ese momento no lo relacionaron con la necesidad del oxígeno para dicha obtención de energía y continuaron su explicación sin relacionarlos hasta llegar a la célula, cuando ya incorporaron el uso de la energía. G2-13 introdujo la obtención de energía también al hablar de los nutrientes, concretamente de la absorción de nutrientes. A continuación, después de su transporte hasta la célula, se refirió a las funciones que tiene que cumplir la célula, y a que para ello era necesario un componente más, el oxígeno. Esto les dio pie a explicar la entrada de oxígeno en el cuerpo y sus procesos hasta llegar a la célula, momento en que mencionaron nuevamente la obtención de energía y su uso para mover el pie.

Discusión, conclusiones e implicaciones

El presente estudio busca abordar cómo la representación del modelo de nutrición humana a lo largo de una secuencia de modelización ayuda a los FPs a construir un modelo más completo cuando las diversas representaciones están contextualizadas en el fenómeno. Los hallazgos muestran que un gran número de FPs en la Cohorte 2 desarrollaron un modelo de nutrición humana cercano al modelo objetivo. Mientras que el FP en la Cohorte 1 solo mencionó los sistemas digestivo, circulatorio y respiratorio, la mayoría del FP en la Cohorte 2 incluyó todos los sistemas involucrados, así como las conexiones entre ellos.

En relación con los mecanismos, el FP de la Cohorte 2 mostró en sus dibujos y escritos más mecanismos que el de la Cohorte 1, tales como el transporte interno de gases, nutrientes y productos de excreción. Sin embargo, aunque hubo una mejora significativa en comparación con el FP de la Cohorte 1, los resultados para los mecanismos no mostraron una mejora tan notable como la de los componentes. Es decir, los y las FPs representaron mejor los órganos y sistemas que los procesos, como se ha mostrado en la literatura (Ayđın, 2016; Cuthbert, 2000; Özsevgeç, 2007; Reiss et al., 2002). Finalmente, la obtención de energía en las células y su posterior uso (fenómeno) (Uskola et al., 2024) se mencionó más por el FP de la Cohorte 2 que por el de la Cohorte 1. Esta mejora observada en el modelo de nutrición humana representado por la Cohorte 2 en comparación con la Cohorte 1 podría atribuirse al uso de representaciones contextualizadas en el fenómeno, puesto que el docente alentó al FP de la Cohorte 2 a considerar para qué se estaba utilizando la energía. Del mismo modo, Penner et al. (1997, 1998), en trabajos de biomecánica en los que alumnado de primaria debía construir una maqueta que funcionara como un codo humano, observaron una mejoría en los resultados de la segunda cohorte frente a la primera. En este caso, en un principio el alumnado se había centrado

exclusivamente en la representación de los componentes en sus maquetas, mientras que en la segunda cohorte incluyó los mecanismos implicados (Penner et al., 1998). Los autores explicaron dicha mejoría por el hecho de que el profesor hiciera mayor hincapié en la relación entre la fuerza y la ubicación del punto de inserción del bíceps al realizar las maquetas (Penner et al., 1998).

Respecto a la segunda pregunta de investigación, en la que se abordó de qué manera aludía al fenómeno el FP en sus representaciones intermedias, en los resultados se ve que prácticamente todos los grupos empezaron con una explicación descriptiva de los componentes macroscópicos, coincidiendo con una tendencia observada en otros estudios, por ejemplo, en los dibujos realizados por niñas y niños en lecciones de mecánica (Park et al., 2020). Asimismo, Penner et al. (1997) observaron en sus maquetas del funcionamiento del codo humano, que a pesar del contexto funcional de la actividad, las maquetas se centraron en los componentes macroscópicos del brazo humano.

En el presente estudio, la mayoría de los grupos que mencionaron el fenómeno (9 de 11) lo introdujeron en momentos intermedios de sus explicaciones. Parece que de esta manera le dieron sentido (*sensemaking*) a la explicación que seguía. De hecho, Odden y Russ (2019) definieron el proceso de dar sentido a algo como «un proceso dinámico de construir o revisar una explicación con el objetivo de ‘averiguar algo’—comprobar el mecanismo que subyace en un fenómeno con el objetivo de superar una brecha o inconsistencia en la comprensión que uno tiene» (pp. 191-192). Interpretamos que estos grupos se encontraron con brechas al tratar de relacionar distintos sistemas, lo que se evidencia cuando justificaron, por ejemplo, la necesidad de oxígeno haciendo referencia al fenómeno. En este sentido, Sirnoorkar et al. (2023) también observaron cómo alumnos generaron sus explicaciones como respuesta a una brecha de conocimiento que percibían.

Se puede interpretar que estos 9 grupos tenían como objetivo construir una explicación para comprender el modelo de nutrición. Esto es lo que caracteriza a la práctica discursiva de dar sentido frente a la de dar una respuesta (*answer giving*), cuyo objetivo sería completar el problema o tarea, recordando para ello la información (Hunter et al., 2021). Para cumplir este objetivo y dar sentido a su discurso, los grupos aludieron al fenómeno (uso y obtención de energía).

Este estudio está limitado por la muestra y su enfoque en un tema específico. Como investigación mixta que incluye análisis cuantitativos y cualitativos de los datos, no pretende generalizar las conclusiones. Sin embargo, los hallazgos sugieren algunas implicaciones a tener en cuenta al diseñar actividades de modelización en clase de ciencias. Por ejemplo, la importancia que tiene contextualizar todas las actividades de la secuencia en lugar de solo al principio o al final (Blanco, 2024), dado que los y las estudiantes lo utilizan para dar sentido a lo que están explicando y aprendiendo. En este sentido, Osborne y Patterson (2011) sostienen que la explicación debe dar sentido al fenómeno basándose en otros hechos científicos (en este estudio, mecanismos y fenómenos), y que las explicaciones «funcionan» cuando generan una sensación de mayor comprensión.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó dentro del grupo de investigación KOMATZI (GIU21/031), financiado por la UPV/EHU y del proyecto PID2022-137010OB-I00, subvencionado por MCIN /AEI / 10.13039/501100011033 / FEDER, UE.

Declaración de autoría

Conceptualización: A.U.; metodología: A.U., T.Z., A.A; toma de datos: T. Z.; investigación: A.U., T.Z., A.A; administración del proyecto: A.U.; adquisición de financiación: A.U., escritura-preparación del borrador original: A.U., T.Z., A.A; escritura-revisión y edición: A.U., T.Z., A.A.

Referencias

- Achurra, A., Zamalloa, T. y Uskola, A. (2023). What happens in your body when you have lactose intolerance? *Science Activities*, 60(2), 58-65. <https://doi.org/10.1080/00368121.2023.2168243>
- Adúriz-Bravo, A., Gómez, A., Márquez, C. y Sanmartí, N. (2005). La mediación analógica en la ciencia escolar. Propuesta de la “función modelo teórico”. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VII Congreso, 1-5.
- Ainsworth, S., Prain, V. y Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science*, 333(6046), 1096-1097. <https://doi.org/10.1126/science.1204153>
- Aydın, S. (2016). To what extent do Turkish high school students know about their body organs and organ systems? *Journal of Human Sciences*, 13(1), 1094-1106. <https://doi.org/10.14687/ijhs.v13i1.3498>
- Bahamonde, N. y Gómez, A.A. (2016). Caracterización de modelos de digestión humana a partir de sus representaciones y análisis de su evolución en un grupo de docentes y auxiliares académicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(1), 129-147. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1748>
- Bechtel, W. y Abrahamsen, A. (2005). Explanation: A mechanist alternative. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36 (2), 421-441. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2005.03.010>
- Bielik, T., Krell, M., Zangori, L. y Ben-Zvi Assaraf, O. (2023). Editorial: Investigating complex phenomena: bridging between systems thinking and modeling in science education. *Frontiers in Education*, 8, 1308241. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1308241>
- Blanco, A. (2024). Enfoques de enseñanza en la educación científica actual. Contextualización y prácticas científicas. En T. Lupión-Cobos y C. García-Ruiz (Eds.), *Indagación científica escolar y educación STEAM* (pp.13-29). Graó.
- Creswell, J. W. (2012). *Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research*. Pearson.
- Cuthbert, A. J. (2000). Do children have a holistic view of their internal body maps? *School Science Review*, 82(299), 25-32.
- De Andrade, V., Shwartz, Y., Freire, S. y Baptista, M. (2022). Students' mechanistic reasoning in practice: Enabling functions of drawing, gestures and talk. *Science Education*, 106, 199-225. <https://doi.org/10.1002/sce.21685>
- Dempsey, B. C. y Betz, B. J. (2001). Biological drawing: A scientific tool for learning. *The American Biology Teacher*, 63, 271-279. <https://doi.org/10.2307/4451099>
- Fančovičova, J. y Prokop, P. (2019). Examining secondary school students' misconceptions about the human body: Correlations between the methods of

- drawing and open-ended questions. *Journal of Baltic Science Education*, 18(4), 549-557. <http://dx.doi.org/10.33225/jbse/19.18.549>
- García, B. y Mateos, A. (2018). Comparación entre la realización de maquetas y la visualización para mejorar la alfabetización visual en anatomía humana en futuros docentes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(3), 3605. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3605
- García-Barros, S., Martínez-Losada, C. y Garrido, M. (2011). What do children aged four to seven know about the digestive system and the respiratory system of the human being and of other animals? *International Journal of Science Education*, 15, 1-28. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.541528>
- Garrido, A. y Couso, D. (2025). The IPM cycle: An instructional tool for promoting students' engagement in modeling practices and construction of models. *Journal of Research in Science Teaching*, 62, 391-425. <https://doi.org/10.1002/tea.21979>
- Gilbert, J. K. (2005). *Visualization in Science Education. Models and Modeling in Science Education*. Springer.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of “context” in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976. <https://doi.org/10.1080/09500690600702470>
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. y Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. En J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3-17). Springer.
- Gilbert, J. K. y Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3>
- Goldstone, R. L. y Wilensky, U. (2008). Promoting transfer by grounding complex systems principles. *Journal of the Learning Sciences*, 17 (4), 465-516. <https://doi.org/10.1080/10508400802394898>
- Gómez, V. y Gavidia, V. (2015). Describir y dibujar en ciencias. La importancia del dibujo en las representaciones mentales del alumnado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 441-455.
- Gómez, A. A., Sanmartí, N. y Pujol, R. M. (2007). Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo ser vivo en la escuela primaria. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 25(3), 325-340. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3699>
- Granklint-Enochson, P., Redfors, A., Dempster, E. R. y Tibell, L. A. E. (2015). Ideas about the human body among secondary students in South Africa. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 19(2), 199-211. <https://doi.org/10.1080/10288457.2015.1050804>
- Heredia, S. C., Furtak, E. M. y Morrison, D. (2016). Exploring the influence of plant and animal item contexts on student response patterns to natural selection multiple choice items. *Evolution: Education and Outreach*, 9, 10. <https://doi.org/10.1186/s12052-016-0061-z>
- Hmelo-Silver, C. E. y Azevedo, R. (2006). Understanding complex systems: Some core challenges. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 53-61.

- Hmelo-Silver, C. E., Jordan, R., Eberbach, C. y Sinha, S. (2017). Systems learning with a conceptual representation: A quasi-experimental study. *Instructional Science*, 45, 53-72. <https://doi.org/10.1007/s11251-016-9392-y>
- Hunter, K.H., Rodriguez, J.M.G. y Becker, N.M. (2021). Making sense of sensemaking: Using the sensemaking epistemic game to investigate student discourse during a collaborative gas law activity. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(2), 328-346. <https://doi.org/10.1039/d0rp00290a>
- Hutagol, C.S. y Haarsono, T. (2016). Analysis of students' misconception on the topic of human excretory system in grade XI SMA Negeri District Medan Kota. *Jurnal Pelita Pendidikan*, 4(3), 1-9.
- Khawaja, C. C. y Saxton, J. (2001). It all depends on the question you ask. *Primary Science Review*, 68, 13-14. <https://eprints.mdx.ac.uk/id/eprint/1864>
- Landinho, F., Duarte, R. y Talamoni, A. (2022). Da nutrição à digestão: uma proposta contextualizada para o ensino do sistema digestório. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 17(3), 607-625. <https://doi.org/10.14483/23464712.18937>
- Lenhard, W. y Lenhard, A. (2016). *Computation of effect sizes*. Psychometrica. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17823.92329>
- Lin, C.Y. y Hu, R. (2003). Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *International Journal of Science Education*, 25(12), 1529-1544. <https://doi.org/10.1080/0950069032000052045>
- Núñez, F. y Banet, E. (1997). Students' conceptual patterns of human nutrition. *International Journal of Science Education*, 19(5), 509-526. <https://doi.org/10.1080/0950069970190502>
- Odden, T. O. B. y Russ R. S. (2019). Defining sensemaking: Bringing clarity to a fragmented theoretical construct. *Science Education*, 103(1), 187-205. <https://doi.org/10.1002/sce.21452>
- Oh, P. S. y Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- 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>
- Osborne, J.F. y Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, 95, 627-638. <https://doi.org/10.1002/sce.20438>
- Özsevgeç, L. C. (2007). What do Turkish students at different ages know about their internal body parts both visually and verbally? *Journal of Turkish Science Education*, 4(2). 31-44. <https://www.tused.org/index.php/tused/article/view/666>
- Park, J., Chang, J., Tang, K.-S., Treagust, D.F. y Won, M. (2020). Sequential patterns of students' drawing in constructing scientific explanations: focusing on the interplay among three levels of pictorial representation. *International Journal of Science Education*, 42(5), 677-702. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1724351>

- Passmore, C., Gouvea, J.S. y Giere, R. (2014). Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. En M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1171–1202). Springer.
- Penner, D. E., Giles, N. D., Lehrer, R. y Schauble, L. (1997). Building functional models: Designing an elbow. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 125-143.
- Penner, D. E., Lehrer, R. y Schauble, L. (1998). From physical models to biomechanics: A design modeling approach. *The Journal of the Learning Sciences*, 7(3 & 4), 429-449.
- Prain, V. y Tytler, R. (2012). Learning through constructing representations in science: A framework of representational construction affordances. *International Journal of Science Education*, 34(17), 2751–2773. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.626462>
- Prain, V. y Tytler, R. (2021). Theorising learning in science through integrating multimodal representations. *Research in Science Education*, 52, 805–817. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10025-7>
- Reiss, M. J. y Tunnicliffe, S. D. (2001). Students' understandings of human organs and organ systems. *Research in Science Education*, 31, 383-399.
- Reiss, M. J., Tunnicliffe, S. D., Andersen, A. M., Bartoszeck, A., Carvalho, G. S., Chen, S. Y., Jarman, R., Jónsson, S., Manokore, V., Marchenko, N., Mulemwa, J., Novikova, T., Otuka, J., Teppa, S. y Van Roy, W. (2002). An international study of young peoples' drawings of what is inside themselves. *Journal of Biological Education*, 36(2), 58-64. <https://doi.org/10.1080/00219266.2002.9655802>
- Rivadulla, J. C. (2013). *El desarrollo del curriculum desde la perspectiva del profesorado de educación primaria*. [Tesis doctoral, Universidade da Coruña]. Repositorio Universidade Coruña. <http://hdl.handle.net/2183/11672>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Shin, N., Bowers, J., Roderick, S., McIntyre, C., Stephens, A. L., Eidin, E., Krajcik, J. y Damelin, D. (2022). A framework for supporting systems thinking and computational thinking through constructing models. *Instructional Science*, 50(6), 933-960. <http://dx.doi.org/10.1007/s11251-022-09590-9>
- Sigman, M. (2024). *El poder de las palabras*. Penguin Random House.
- Sirnoorkar, A., Bergeron, P. D. O. y Laverty, J. T. (2023). Sensemaking and scientific modeling: Intertwined processes analyzed in the context of physics problem solving. *Physical Review Physics Education Research*, 19, Artículo 010118. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010118>
- Snapir, Z., Eberbach, C., Ben-Zvi-Assaraf, O., Hmelo-Silver, C. y Tripto, J. (2017). Characterising the development of the understanding of human body systems in high-school biology students – a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 39(15), 2092-2127. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1364445>

- Tytler, R., Prain, V., Aranda, G., Ferguson, J. y Gorur, R. (2020). Drawing to reason and learn in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(2), 209–231. <https://doi.org/10.1002/tea.21590>
- Uskola, A., Zamalloa, T. y Achurra, A. (2024). Using multiple strategies in deepening the understanding of the digestive system. *Journal of Biological Education*, 58(2), 364–382. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2064896>
- Van Dijk, T.A. (2010). Discurso, conocimiento, poder y política. Hacia un análisis crítico epistémico del discurso. *Revista de Investigación Lingüística*, 13, 167–215.
- Zamalloa, T., Uskola, A. y Achurra, A. (2023). The influence of the context in representing the human nutrition model. *Journal of Baltic Science Education*, 22(6), 1089–1102. <https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.1089>