

# ¿Qué circula en las cadenas tróficas? Modelización del flujo de energía por alumnado de 4º de ESO

**Bravo Torija, B<sup>1</sup>., y Jiménez Aleixandre, M. P<sup>2</sup>.**

*1 Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Zaragoza,*

*2 Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Santiago de Compostela.*

[beatriz.bravo@usc.es](mailto:beatriz.bravo@usc.es)

*Simposio: competencias y prácticas científicas en secundaria y bachillerato*

## **RESUMEN**

En este trabajo se examina cómo 14 alumnos de 4º de ESO construyen el modelo de flujo de energía con la ayuda de una analogía con botellas y agua que representan cómo la energía es transferida entre los organismos de un ecosistema. La tarea consiste en realizar una simulación en la que el agua pasa de una botella denominada “sol” a otras cuatro botellas que representan los niveles tróficos, y observar qué ocurre durante el proceso, conectándolo con lo que ocurre con la energía en los ecosistemas. Los resultados muestran que 12 de los alumnos relacionan la simulación con el modelo de flujo de energía, reconociendo la disminución de energía entre los niveles tróficos, sin embargo ninguno de ellos conecta los dos tipos de “pérdidas” de agua con las causas por las que éstas se producen y con las consecuencias que tienen en los ecosistemas.

## **Palabras clave**

Modelización, Aprendizaje de Ecología, Flujo de Energía, Educación Secundaria

## **MODELIZACIÓN DEL FLUJO DE ENERGÍA: MARCO Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO.**

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación en el que se examina el desempeño de un grupo de estudiantes de 4º de ESO en las competencias científicas de uso de pruebas y de explicación de fenómenos científicos a través de modelos. En esta comunicación presentamos los resultados obtenidos al realizar una actividad en la que los estudiantes tienen que construir el modelo de transferencia de energía o flujo de energía a partir de una simulación con botellas de plástico y agua. El objetivo es examinar cómo los alumnos conectan el modelo de flujo de energía, es decir las ideas de cómo se transfiere la energía, por qué disminuye al pasar por los distintos niveles tróficos y qué consecuencias tiene en la naturaleza, con procesos concretos como la simulación del paso de agua entre distintas botellas y las “pérdidas” que se producen. Se decidió escoger este modelo teórico por dos razones: a) porque su comprensión, debido a su alto grado de abstracción, supone dificultades tanto al alumnado (Grotzer y Basca.

2003) como al profesorado (Beals et al., 2012); y b) porque considerar las consecuencias que el flujo de energía tiene en la gestión de recursos por el ser humano es uno de los criterios de evaluación para 4º de ESO (MEC, 2006), curso en el que se realizó el estudio.

### **Modelización como práctica de construcción del conocimiento científico**

La modelización entendida como la construcción, uso, evaluación, y revisión de modelos ha sido reconocida como un proceso central en el desarrollo, evaluación y diseminación del conocimiento científico (Gilbert y Boulter, 1998). Los científicos elaboran modelos para intentar explicar los fenómenos que les rodean. Estos modelos no permanecen fijos sino que son continuamente revisados, pudiendo ser modificados o incluso descartados cuando aparecen nuevos datos que no se ajustan al modelo actual. En el aprendizaje de las ciencias es importante que los estudiantes aprendan los conocimientos clave de las distintas disciplinas, pero también es crucial que participen en los procesos por los que estos son generados y justificados. Desde esta perspectiva la modelización cobra especial relevancia. Diversos estudios han mostrado que trabajar con actividades que promueven la modelización en el aula ayuda a los estudiantes a: a) externalizar su razonamiento y a visualizar y comprobar los componentes de sus teorías (Jonassen, 2004); b) adquirir nuevo conocimiento al tener que activar su conocimiento previo y contrastarlo al considerar nuevos modelos (Megalakaki y Tiberghien, 2011) y c) hacer predicciones, guiar investigaciones, justificar resultados, y comunicarlos de forma sencilla (Gilbert y Boulter, 1998). En resumen ayuda al alumnado a comprender tanto el conocimiento científico como cómo éste es construido (Mendonça y Justi, 2011). Promover esta práctica en el aula también es útil para el profesorado porque al hacerse explícitos los modelos mentales de sus estudiantes pueden dar sentido a sus ideas y tener acceso a la evolución de sus pensamientos (Mendonça y Justi, 2011). Pero a pesar de las ventajas que se han señalado, en la mayoría de las aulas de secundaria a los alumnos se les presentan los modelos como meros objetos de transmisión de conocimiento, en pocas ocasiones los construyen, y raramente reflexionan acerca de la teoría que subyace en el modelo y su utilidad para realizar explicaciones o predicciones en base a los datos disponibles (Grosslight et al., 1991).

En este trabajo solicitar al alumnado que realice una simulación con botellas y agua, y que la conecte con el modelo de flujo de energía, nos permite explorar qué conceptos o ideas ponen en juego los estudiantes al construir el modelo, y cómo aplican la teoría para explicar lo que en realidad ocurre en la naturaleza.

### **Modelización en biología**

El uso de modelos en Biología para explicar fenómenos es muy común en el aula, podemos encontrar modelos para representar gran cantidad de conceptos, ideas o procesos, desde nivel micro como el cruzamiento de los cromosomas en la meiosis, hasta nivel macro como el ciclo del agua o la selección natural. En la literatura consultada se han reconocido principalmente dos tendencias: 1) el incremento de estudios sobre modelos en biología molecular, en particular sobre la estructura de la célula (Bushell, 2010) y sobre problemas de genética (Cartier et al., 2006); y 2) el uso de simulaciones en estudios sobre aprendizaje de ecología.

Respecto al uso de simulaciones en el aprendizaje de Ecología, el fenómeno más trabajado es la fluctuación de las poblaciones en función de las relaciones depredadores-presas. Autores como Korfiatis et al. (1999) observaron que el uso de simuladores como Stella ayudaba al alumnado a comprender estas fluctuaciones, y a determinar las

consecuencias que tenía la variación de una población depredadora en una población presa y viceversa. Hovardas y Korfiatis (2011) mostraron que trabajar con simuladores puede contribuir a superar errores conceptuales como el concepto de “equilibrio ecológico”. Hay otros estudios como el de Lutterschmidt y Schaefer (1997) en que se examina cómo el alumnado a través del uso de software Model-it llega a utilizar estrategias como el análisis y síntesis de datos y la construcción de explicaciones para considerar lo que ocurre en un ecosistema de arroyo.

No se ha encontrado ningún trabajo en el que se aborde explícitamente el modelo de flujo de energía, objeto de este estudio. Consideramos que trabajar con este modelo en el aula es relevante para entender otros modelos de ecología como los diagramas de las pirámides y redes tróficas. En relación a estos diagramas autores como Grotzer y Basca (2003) han encontrado que muchos alumnos consideran que el criterio principal para construir las cadenas tróficas es la idea de “quién come a quién” en lugar de cómo es transferida la energía de un nivel trófico a otro. Esto supone dificultades al alumnado al interpretar el significado de las flechas que unen los organismos de una cadena trófica y al construir cadenas que no aparezcan en los libros de texto, ya que no son capaces de determinar el orden de los organismos porque no conocen las relaciones alimentarias que se establecen entre ellos (Eilam, 2002). En esta propuesta aparte de considerar cómo es el modelo de flujo de energía que adquiere el alumnado, también analizamos los pasos que sigue para construirlo, desde la observación de la simulación hasta su conexión con el modelo teórico que respalda.

## **MÉTODOLÓGÍA, PARTICIPANTES Y TAREA**

La metodología empleada es de tipo cualitativo. Utilizar un estudio de caso nos permite explorar en profundidad la realidad de un individuo, grupo social, o comunidad en un momento determinado (Kyburz Graber, 2004). En este trabajo se explora la complejidad del proceso de aprendizaje en un aula de ciencias. Para el análisis utilizamos la metodología de análisis de discurso, definido como el análisis del lenguaje usado para poner en acción actividades, perspectivas e identidades (Gee, 2005). Lo que nos interesa es entender qué conexiones establece el alumno entre la simulación y el modelo de flujo de energía, cómo lo hace y por qué.

Los participantes son una clase completa de 4º de ESO (N= 14), y su profesor, de un instituto rural de Galicia. Los alumnos trabajan en cuatro pequeños grupos.

La actividad analizada en esta propuesta se enmarca en una secuencia de ecología diseñada por las investigadoras y discutida con el profesor. Esta secuencia se dividió en seis sesiones, incluyendo actividades de modelización del flujo de energía, construcción de cadenas y pirámides tróficas, resolución de problemas de gestión de recursos terrestres y marinos, y evaluación, en base a los modelos trabajados en la unidad, de un texto sobre la sostenibilidad de la acuicultura (Bravo Torija y Jiménez Aleixandre, 2010).

En esta comunicación nos centramos en la actividad de modelización del flujo de energía. En ella se pretende que los alumnos sean capaces de conectar nociones como nivel trófico o transferencia de energía, con objetos y procesos más concretos, como el paso de agua de una botella a otra y las “pérdidas” que se producen. Para realizarla se proporciona a cada grupo el siguiente material: a) cinco botellas de agua de litro y medio, tres de ellas agujereadas en el fondo; b) agua para la primera botella que representa el sol; y c) un barreño en el que se recoge el agua sobrante. Una vez se les entrega el material, los alumnos tienen que ordenar las cinco botellas según el nivel

trófico al que correspondan. Para ello han de reconocer qué lugar ocupa cada nivel en la cadena trófica. Después han de pasar el agua desde la botella “sol” a la siguiente y de ésta la siguiente y así sucesivamente, observando qué está ocurriendo durante el proceso. Al final se les entrega un documento en que aparecen cuatro cuestiones que han de debatir en grupo, y luego responder individualmente:

*Describir todo lo que observáis*

*Cuando acaba todo el proceso ¿Qué ocurre con la energía que estaba contenida en la botella sol?*

*¿Qué es lo que crees que representa la simulación?*

*Si en lugar de botellas fueran plantas y animales ¿Qué pensáis que representaría?*

En las dos primeras preguntas se solicita a los alumnos una descripción de lo observado en la simulación, con el objetivo de que reconozcan: 1) los dos tipos de “pérdidas” de agua que se producen al pasar el agua de una botella a otra; y 2) como al final del proceso la cantidad de agua que llega a la botella que representa los consumidores terciarios es aproximadamente un 20% de la inicial.

En la tercera deben conectar estas observaciones con el modelo teórico de flujo de energía. Para ello han de considerar la idea de transferencia de energía y conectarla con el paso del agua de una botella a otra, y han de reconocer que las “pérdidas” que se producen son debidas: a) a que hay parte de la energía que no es utilizada por el siguiente nivel trófico, por ejemplo la contenida en las pieles o los huesos de los animales. Esto estaría representado por el agua que no llega a entrar en la botella; y b) al consumo de energía por los organismos para mantener sus funciones vitales, representado por el agua que pasa a través de la botella, de ahí la existencia de los agujeros. Al final han de darse cuenta de que la cantidad de energía procedente del sol disminuye drásticamente hasta llegar a los consumidores terciarios.

En la última pregunta se requiere una aplicación del modelo de flujo de energía para explicar lo que ocurre en la naturaleza. Es decir deberían reconocer las consecuencias que la disminución de energía tiene en los ecosistemas, por ejemplo en la limitación en el número de niveles tróficos en una cadena o en el número de organismos, siempre hay más plantas que animales. Consideramos que construir este modelo adecuadamente puede ayudar al alumnado a entender que las cadenas tróficas no son representaciones de “quién come a quién” sino de cómo la energía es transferida entre organismos que se encuentran conectados, y a poder tomar decisiones, desde un punto de vista crítico de cómo se deberían gestionar los recursos por el ser humano.

Los datos analizados incluyen las grabaciones en video de las discusiones de los pequeños grupos y las producciones escritas de los estudiantes.

## **RESULTADOS**

Los resultados se presentan en el mismo orden en que los alumnos tendrían que ir construyendo el modelo de flujo de energía, desde la observación y la descripción de lo que está ocurriendo en la simulación hasta la relación entre la disminución de la energía y sus consecuencias para el ecosistema. Se analizan tanto las discusiones como las respuestas escritas de los estudiantes y se discuten ambas, presentando algunos ejemplos.

*Reconocer los dos tipos de “pérdidas” al pasar el agua entre las botellas y la disminución desde la botella “sol” al final*

En este primer paso los alumnos han de realizar la simulación y considerar dos observaciones, por una parte que al pasar el agua de una botella a otra se producen dos “pérdidas”, una el agua que no llega a entrar en la botella, y la otra el agua que atraviesa la botella, y por otra parte que del agua contenida en la botella “sol” apenas queda un cuarto cuando llega a la última botella. Reconocer las dos “pérdidas” que se están produciendo es imprescindible para comprender por qué de toda la energía procedente del sol solo una pequeña parte es aprovechada por los productores, y para entender las causas de por qué la energía disminuye a lo largo de la cadena trófica.

Durante la discusión los cuatro grupos abordan la disminución de agua al pasar de una botella a otra, pero solo en dos de ellos aparece mencionado qué es debido a qué se pierde el agua por los agujeros, no llegando a reconocer que hay una parte que tampoco entra en la botella. Al final en la puesta en común con la ayuda del profesor llegan a considerar estos dos sucesos y a conectarlos con qué ocurre en la realidad, como muestra este fragmento de discusión:

*Profesor: (...). Bien recordar tenemos aquí, partimos del sol que teníamos una botella llena ¿Qué pasó cuando intentábamos pasar el agua a los productores?*

*Penélope: había agujeros por debajo.*

*Profesor: había agujeros por debajo y ¿Qué pasaba?*

*Alumnos: se perdía agua*

*Profesor: y en el paso del sol a los productores nada ésta no perdió nada*

*Rocío: sí, porque no entraba todo el agua.*

*Profesor: no entraba toda el agua porque alguna cuando la íbamos a echar se iba fuera ¿Cuándo pasábamos de productores a consumidores primarios qué pasaba?*

*Alumnos: lo mismo*

*Profesor: lo mismo bien ¿En qué proceso en la realidad? Vamos a poner una oveja que es comida por un lobo (...) ¿La energía que entró en la oveja, ya que entró dónde se perdía? ¿En qué proceso? Lo dijisteis antes.*

*Rita: en el movimiento.*

*(El profesor solicita durante varios turnos que le expliquen por qué se produce esta disminución, promoviendo que conecten la simulación con el ejemplo concreto)*

*Profesor: y todos los procesos vitales y cuando yo la pasaba de la planta a la oveja [refiriéndose a las botellas que representan a los productores y a los herbívoros] ¿Por qué no pasaba toda? ¿La que no entra por la boca de la oveja? [Haciendo referencia al agua que no entraba en la boca de la botella]*

*Rocío: que no se come toda la planta*

*Profesor: y aparte de no comerse toda la planta (...)*

*Rocío: que no tienen toda la energía.*

*Profesor: ¿Por qué? (...)*

*Rosa: por la caca.*

En esta discusión se observa como el profesor promueve que los alumnos consideren que se han producido dos “pérdidas”, y les ayuda a conectarlas con las razones por las que se han producido, el mantenimiento del organismo y la parte de materia que o bien no llega a ser utilizada por el organismo, como huesos o pieles, o bien es excretada por éste. Incluso llega a proponer a los alumnos un ejemplo concreto, la relación que se establece entre una oveja y un lobo, para facilitarles la conexión entre la simulación y el modelo que representa.

En los informes escritos todos los alumnos reconocen que se produce una disminución en la cantidad de agua, sin embargo solo cuatro mencionan que es debido a dos tipos de pérdidas, aunque no las explican. Hay tres alumnas, todas del grupo S, que tanto en su

discusión como en su informe en lugar de describir la observación, lo que proporcionan es una explicación en términos de transferencia de energía. Podríamos considerar que desde el comienzo han conectado la simulación con el modelo teórico que representa, como muestra el siguiente ejemplo de respuesta escrita:

Sandra *“la energía solar es captada por los productores, de estos es transmitida a los consumidores primarios, de los primarios a los secundarios y de los secundarios a los terciarios. En la transmisión se pierde mucha energía”*

*Conectar la simulación con el modelo teórico que representa, el flujo de energía*

En este paso los alumnos deben conectar la observación, es decir la disminución de agua al pasar de una botella a otra y las “pérdidas” que se producen, con el modelo teórico al que respaldan, el flujo de energía. Como se muestra en el fragmento de discusión del grupo S, las alumnas son capaces de conectar la simulación con el modelo de flujo de energía, pero no llegan a considerar a qué es debida su disminución:

*Silvia: ¿Qué ocurre con la energía que contiene la botella del sol?*

*Sandra: que va disminuyendo, en algunos casos queda a cero. Hasta llegar al consumidor terciario la cantidad de energía disminuye. Al pasar de un nivel a otro la energía se va perdiendo hasta llegar a el consumidor terciario la cantidad de energía disminuye. El que al pasar de un nivel a otro la energía se va perdiendo hasta llegar a los consumidores terciarios que tienen mucha menos, por lo que la energía de la botella del sol disminuye...*

*Silvia: ¿Cómo, qué?*

*Sandra: al pasar la energía de un lado a otro se va perdiendo y del sol es mucho más ¿Cómo lo ponemos? Para llegar a los consumidores terciarios...*

*Silvia: la energía de los consumidores terciarios es mucho menos comparado con...*

*Sandra: con la energía solar, al pasar la energía de una a otra la energía se va perdiendo y al llegar a los consumidores terciarios se ha eliminado gran cantidad de energía solar (...)*

*Sandra: ¿Qué crees que representa la simulación? La transmisión de energía desde el sol hasta el último consumidor.*

Este grupo desde el comienzo de su discusión ya establece la relación entre la simulación y el modelo de flujo de energía, reconociendo que cada una de las botellas representa un nivel trófico, y que el agua es la energía que va disminuyendo según pasa de una botella a otra. En este fragmento se puede ver cómo Sandra es la que construye toda la explicación, llegando a reconocer que de la cantidad de energía inicial solo una pequeña parte llega a los consumidores terciarios. Durante su discusión en ningún momento consideran el tipo de “pérdidas” de agua que se producen, por lo que tiene sentido que a pesar de que elaboran un modelo complejo, no llegan a determinar a qué son debidas esas pérdidas.

Los alumnos deben reconocer no solo la existencia de las “pérdidas” sino también la razón por las que éstas se producen, sin embargo ni en sus discusiones, ni en sus respuestas escritas aparece esta relación. En 11 respuestas se conecta la simulación con el modelo de flujo de energía, y en las otras dos restantes solo se menciona que la simulación representa una cadena trófica sin justificarlo. En estos dos casos no podríamos determinar si estos alumnos entienden lo que se representa con la simulación pero no los explican porque no lo consideran necesario, o si lo que está ocurriendo es que no reconocen el objetivo de la pregunta.

*Conectar el modelo de flujo de energía con sus consecuencias en los ecosistemas*

En este paso los estudiantes deben de justificar qué representaría la simulación en la realidad en base al modelo de flujo de energía. Para ello han de tener en cuenta la disminución de energía y las consecuencias que tiene en los ecosistemas. Es decir han de considerar que a excepción de las plantas que utilizan la energía procedente del sol, el resto de seres vivos necesitan alimentarse de otros para obtener su energía, y que en ese proceso parte de la energía se “pierde”. Por esta razón siempre hay un mayor número de plantas que de herbívoros, y de herbívoros que de carnívoros. Ni en la discusión de los grupos, ni en los informes escritos las respuestas que se proporcionan son tan elaboradas. Respecto a los respuestas escritas, en 10 de ellas los estudiantes reconocen que la simulación representa la cadena trófica, algunos mencionan también la red trófica, pero sin justificar por qué. Ninguno de ellos reconoce las consecuencias que la disminución de energía tiene en los ecosistemas, una idea clave para comprender cómo gestionar los recursos. Un ejemplo de respuesta:

Penélope “*Representaría el paso de la energía en las cadenas trófica*”

Los otros tres repiten la misma explicación que en la pregunta anterior, por lo que podríamos considerar que no reconocen que lo que se les solicita es diferente. En esta ocasión los alumnos han de aplicar el modelo teórico a la realidad, es decir han de conectar el modelo con la estructura de los ecosistemas. Un ejemplo de respuesta:

Támara “*El líquido sería la energía y las botellas los niveles tróficos y el líquido que va cayendo de las botellas, la energía que se pierde*”

Respecto a las discusiones de los grupos, ocurre lo mismo que en sus respuestas escritas, todos ellos concluyen que lo que representa la simulación es una cadena o red trófica pero ninguno llega a justificar por qué. Una de las razones que podría haber influido en que los alumnos solo consideraran la representación de la cadena trófica, y no llegaran a justificarla en base al modelo de flujo de energía, es que en su discusión la mayor parte del tiempo lo destinan a establecer la relación entre la simulación y el modelo teórico, no siendo suficiente el que emplean para ver cómo este modelo se concreta en la realidad.

## **CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS**

En este trabajo se buscaba examinar cómo el alumnado construye el modelo de flujo de energía a partir de la realización de una simulación con botellas de plástico y agua. En particular lo que nos interesa es entender qué conexiones establece entre la simulación y el modelo de flujo de energía, cómo lo hace, y cómo a partir de la simulación es capaz de explicar la realidad.

A la vista de los resultados consideramos que la simulación que se propone en el trabajo ayuda al alumnado a entender cómo es la transferencia de energía entre los niveles tróficas y su disminución, pero no es suficiente para que los alumnos lleguen a relacionar el modelo teórico con sus consecuencias en los ecosistemas, mayor número de productores que de consumidores. Por ello proponemos un cambio en la última pregunta; en lugar de partir del modelo teórico y de que éste se conecte con la realidad, partiremos de la realidad, la existencia en la naturaleza de un mayor número de plantas que de animales, y solicitaremos al alumnado que justifique esta observación utilizando el modelo teórico abordado con la simulación, comprobando si de esta forma se facilita al alumnado conectar el modelo teórico con lo que ocurre en la realidad.

En relación a la adquisición de este modelo y su aplicación durante la unidad didáctica, aunque no es objeto de este estudio, creemos que es de interés señalar que durante la

resolución de un problema sobre cómo gestionar una pequeña bahía con varias poblaciones de peces (cuarta actividad de la unidad) todos los grupos fueron capaces de utilizar el modelo de flujo de energía para decidir qué especies pescar (o comer) y cómo (Bravo Torija, 2012). Esto nos lleva a considerar que dedicar tiempo a la construcción y reflexión sobre este modelo podría facilitar su posterior aplicación en contextos concretos como la gestión de recursos.

Para finalizar, otro aspecto que destacar es el papel del profesorado en el desarrollo de las competencias científicas, en particular en la modelización. Como muestran los resultados el docente ha sido un elemento clave para que los alumnos consideraran las dos “pérdidas” de agua que se producían en la simulación, y las conectaran con lo que ocurre en los ecosistemas. Incluso propone un ejemplo concreto para ayudar a sus estudiantes a establecer esta relación. La influencia del profesorado en la adquisición de las competencias científicas ha sido poco explorada por la investigación educativa, por ello sugerimos que sería de interés realizar estudios dirigidos a identificar y caracterizar las acciones llevadas a cabo por los docentes para promover esta práctica científica, pudiendo ser útil tanto para el diseño de materiales educativos como para la formación inicial y continua del profesorado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al proyecto EDU2012-38022-C02-01 financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. La primera autora realizó su tesis gracias a una beca FPI, del Ministerio de Educación, código BES-2007-15075.

## **BIBLIOGRAFÍA (SELECCIÓN)**

- Beals, A. M., MacNall Krall, R. y Wymer, C. (2012). Energy flow through an ecosystem: Conceptions of in-service elementary and middle school teachers. *International Journal of Biology Education*, 2(1), 2-18.
- Bravo Torija, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *Research-based design of a teaching sequence on marine resources management: How to manage classroom resources?* Comunicación presentada en el congreso de ERDOB, Braga, Portugal.
- Gee, J. P. (2005). *An introduction to discourse analysis: theory and method*. London: Routledge.
- Gilbert, J. K. y Boulter, C. J. (1998). Learning science through models and modelling. In B. J. F. Fraser y K. G. Toben (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 53-66). Dordrecht: Kluwer Academic Publisher
- Grosslight, L., Unger, C. y Jay, E. (1991). Understanding model and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Grotzer, T. A. y Basca, B. B. (2003). How does grasping the underlying causal structures of ecosystems impact students' understanding? *Journal of Biological Education*, 38(1), 16-29.
- Lutterschmidt, W. I. y Schaefer, J. F. (1997). A computer simulation for demonstrating and modelling predator-prey oscillations. *Journal of Biological Education*, 31(3), 221-227.
- Mendonça, P. C. C., y Justi, R. (2011). Contribution of the ‘Model of Modelling’



diagram to the learning of ionic bonding: Analysis of a case study. *Research in Science Education*, 41(4), 479-503