

ORIENTACIONES DIDÁCTICAS PARA FAVORECER LA PRESENCIA DEL MODELO CONCEPTUAL COMPLEJO DE SER VIVO EN LA FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORADO DE EDUCACIÓN PRIMARIA¹

BONIL, JOSEP y PUJOL, ROSA MARIA

Dep. Didáctica de la Matemática i les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona

josep.bonil@uab.es

rosamaria.pujol@uab.es

Resumen. El presente artículo toma como punto de partida la introducción del modelo conceptual complejo de ser vivo en la formación inicial de maestros de la especialidad de Educación Primaria. Describe la realización de una investigación evaluativa sobre un programa de la asignatura de Didáctica de las Ciencias Experimentales. La investigación se centra en los cambios que estimula el programa en la representación del modelo mental de ser vivo que realiza el alumnado antes y después de la aplicación del programa. Como conclusiones se aportan algunas orientaciones metodológicas que pueden favorecer la evolución del modelo mental que tiene el alumnado sobre los seres vivos hacia el modelo conceptual que propone la ciencia contemporánea.

Palabras clave. Complejidad, modelo conceptual ser vivo, formación inicial de profesorado, investigación evaluativa.

Guidance to favour the presence of the complex conceptual model of «live being» in the initial training of teachers

Summary. The article presented uses, as a starting point, the introduction of the complex conceptual live being model in the initial training of teachers whose especiality is in Primary Education. It describes the evaluative investigation of a programme of a subject in Didactic Experimental Sciences. The investigation is centered around the changes which stimulate the programme in the representation of the mental live being model which is carried out by the students before and after the application of the programme. The conclusions bring some methodological indications which could favour the evolution of the mental model which the students have about the live beings, towards the conceptual model which contemporary science proposes.

Keywords. Complexity, initial teaching, training formation, assessment research, conceptual model of «live being».

1. INTRODUCCIÓN

La formación inicial del profesorado constituye un núcleo significativo de investigación en el campo de la Didáctica de las Ciencias Experimentales (Gimeno, 1988; Imbernón, 2001; Porlán y Rivero, 1998; Martín del Pozo y Porlán, 1999; Mellado, 2003). Entre las múltiples propuestas para tratar el tema, se encuentran aquellas centradas en el estudio del conocimiento didáctico del contenido (Shulman, 1986). Éste constituye un subsistema dentro del conocimiento profesional del docente y emerge del diálogo entre el conocimiento de una materia específica, el conocimiento psicopedagógico general y el conocimiento relativo a cómo enseñar dicha materia.

Desde el conocimiento didáctico del contenido es clave conectar los modelos explicativos de los docentes con aquellos modelos conceptuales generados por la ciencia contemporánea. También se hace necesaria una reflexión teórico-práctica sobre la forma de diseñar, aplicar y evaluar contextos educativos favorecedores de la presencia de la ciencia actual en las aulas. Ambos aspectos son significativos en el diseño de programas de formación inicial del profesorado.

La formación inicial del profesorado es un proceso continuado de planificación, aplicación y mejora de los programas que la impulsan. Es pues fundamental

que éstos, una vez diseñados y aplicados, se sometan a procesos evaluativos que permitan conocer su repercusión sobre el alumnado y orientar la toma de decisiones para mejorarlos.

En este artículo se presentan algunos aspectos básicos del modelo conceptual de ser vivo a la luz del paradigma de la complejidad. Propone la investigación evaluativa cuya función es asignar valor al programa desarrollado y orientar su cambio. Describe diversos aspectos de dicha investigación y presenta algunos de los resultados obtenidos. Por último expone, a modo de conclusión, varias sugerencias para favorecer los procesos de modelización del futuro profesorado de educación primaria hacia el modelo conceptual complejo de ser vivo.

2. MARCO TEÓRICO

Introducir en el aula los modelos conceptuales elaborados por la ciencia contemporánea constituye uno de los objetivos fundamentales de la educación científica (Giere, 1999; Gutiérrez, 2004; Izquierdo et al., 1999; Pujol, 2003; Sanmartí, 2002). Estos modelos deben facilitar al alumnado la interpretación de los fenómenos del mundo físico, y llevarlo a que desarrolle la capacidad de elaborar predicciones y tomar decisiones. La ciencia escolar constituye una aproximación teórica que permite hacer frente a dicho objetivo (Izquierdo et al., 1999). Desde esta perspectiva, los procesos de enseñanza y aprendizaje se plantean en términos de modelización, relacionando los modelos conceptuales elaborados por la ciencia con los modelos mentales del alumnado. En dicho proceso, el docente se convierte en un agente que, conocedor de los contenidos estructurantes que definen un determinado modelo conceptual, planifica los procesos de enseñanza-aprendizaje como acciones que posibiliten al alumnado elaborar modelos mentales más complejos y cercanos a los de la ciencia contemporánea (Pujol, 2003).

Los modelos conceptuales de la ciencia del siglo xx presentan una clara presencia de la complejidad (Varela, 1989; Capra, 1996; Holland, 2004; Izquierdo et al., 2004; Wagensberg, 2005). Los modelos de la ciencia han incorporado la visión de la unidad como organización (Roger, 2000), y con ello han señalado la importancia fundamental de la relación entre estabilidad y cambio. De esta manera, la actividad científica se centra no sólo en los estados sino también en los procesos que posibilitan el paso de un estado a otro y se constituye como una ciencia que considera el azar y la indeterminación como elementos relevantes en la explicación de procesos orientados en el tiempo (Prigogine, 1997). Una ciencia que establece una constante relación entre múltiples causas y diversidad de efectos como forma de desencadenar procesos autoorganizadores (Johnson, 2003).

Desde la perspectiva de la complejidad, los seres vivos son concebidos como redes dinámicas denominadas de distintos modos: *sistemas complejos adaptativos* (Gell Mann, 1995), *estructuras disipativas* (Prigogine, 1997),

agentes autónomos (Kauffman, 2003). En todos los casos su estudio se aborda desde una óptica compleja que, sin renunciar a las aportaciones realizadas desde el enfoque determinista, pretende superar sus limitaciones para hacer frente tanto a nuevas cuestiones como a puntos de vista innovadores sobre problemas clásicos.

Cuando se define el modelo conceptual de ser vivo desde la perspectiva de la complejidad, adquieren relevancia conceptos como «perspectiva sistémica», «causalidad», «irreversibilidad y azar» e «indeterminación» (Bonil y Pujol, 2008). Al tomar dichos conceptos como puntos de referencia, los sistemas vivos se sitúan en la escala meso, entendida como un entramado de relaciones, pues presentan constantes interacciones entre su medio interno –el micro– y el medio externo –el macro–. La continuidad de los seres vivos se convierte en un proceso autopoyético (Varela, 1989) resultado de la autoorganización generada por la relación simultánea entre diversidad de causas y efectos. Todos los procesos se orientan en un eje temporal que evidencia la importancia de la historia del organismo. Asimismo, el azar se convierte en un elemento fundamental, ya que se hace difícil establecer *a priori* el itinerario del sistema y los factores que podrían determinarlo.

Desde la investigación en la Didáctica de las Ciencias, diversos autores han planteado la necesidad de introducir los principios de la complejidad en la formación didáctica del profesorado (García, 2004, 1998; García y López, 2004; Izquierdo et al. 2004; Junyent et al., 2003; Pujol, 2003). Esta necesidad requiere el diseño y evolución de escenarios educativos favorecedores del proceso modelizador del futuro profesorado hacia perspectivas que incorporen los principios de la complejidad (Bonil et al. 2004).

3. MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN

Para desarrollar la investigación que se presenta se optó por la modalidad de investigación evaluativa, pues ésta posibilita orientar el cambio y ofrece información que permite justificar la toma de decisiones. Este tipo de investigación se sitúa dentro de los paradigmas sociocríticos (Carr, Kemmis, 1988; De Miguel, 1988) y establece un diálogo entre metodologías cuantitativas y cualitativas.

La investigación evaluativa facilita la obtención de información válida y fiable que permite justificar las decisiones de cambio relativas al objeto evaluado (Mateo y Vidal, 1997). Conlleva, por tanto, un proceso de recogida y análisis sistemático de información y la aplicación de criterios que garanticen la solidez de los juicios emitidos.

Dentro de la investigación evaluativa se han definido múltiples orientaciones en función del objeto de evaluación escogido (Rossi y Freeman, 1993; Sáez, 1995; Tiana, 1997; Borrell y Chavarría, 1998). En la presente investigación el objeto a evaluar fue el programa de la asignatura de Didáctica de las Ciencias en formación inicial de maestros, por lo cual se optó por la modalidad

de investigación denominada evaluación de programas. Ésta facilita la toma de decisiones respecto a un programa a partir de la recogida y análisis de información fiable y válida (Pérez Justes, 1994). En concreto, la evaluación que se presenta es de carácter formativo, ya que pretende orientar la toma de decisiones respecto a los cambios a realizar en el programa, con el fin de mejorarlo.

4. OBJETIVOS Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación que se presenta abordó los siguientes objetivos:

- Asignar el valor que tiene el programa de la asignatura «Didáctica de las Ciencias Experimentales», para estimular en los futuros maestros la evolución de su modelo mental de ser vivo hacia el modelo conceptual complejo.
- Definir orientaciones didácticas favorecedoras del proceso de modelización de los futuros maestros hacia modelos conceptuales complejos.

El objeto de evaluación fue el programa de Didáctica de las Ciencias impartido en el tercer curso de la titulación de Educación Primaria correspondiente a la Facultad de Ciències de l'Educació de la Universitat Autònoma de Barcelona. Un programa anual con una carga lectiva de 8 créditos divididos en 3,5 créditos teóricos que se desarrollan en el aula y 4,5 créditos prácticos que se realizan en el laboratorio. Dicho programa tenía como eje temático el modelo conceptual de ser vivo elaborado desde la ciencia contemporánea (Thomson, 1989; Gell Mann, 1995; Kauffman, 2003; Holland, 2004). Con la evaluación del programa se buscaba conocer su potencialidad para favorecer la evolución de los modelos mentales del futuro profesorado hacia modelos conceptuales complejos y definir algunas orientaciones didácticas que facilitaran su mejora.

El programa tenía tres grandes objetivos cuyo nexo común era la innovación que suponía la introducción del modelo conceptual ser vivo elaborado a partir de los principios de la complejidad.

El primer objetivo era lograr que el futuro profesorado fuera capaz de construir modelos explicativos sobre los seres vivos, incorporando para ello los principios de la complejidad. En esta tarea resultaba imprescindible que los modelos conceptuales complejos tuvieran una presencia significativa en el día a día de su proceso de formación universitaria.

Como segundo objetivo del programa se planteó que los estudiantes de magisterio fueran capaces de establecer conexiones significativas entre los modelos explicativos construidos en las clases de la facultad y el trabajo realizado en las aulas de Educación Primaria. Ello demandaba una continua reflexión sobre ejemplos concretos de experiencias de aula que incorporaban los principios teóricos de la complejidad.

Finalmente, el programa tenía como tercer objetivo ampliar las competencias de los estudiantes de magisterio para diseñar actuaciones didácticas concretas aplicables a las aulas de Educación Primaria. Para ello resultaba necesario que los grupos de trabajo en que se organizaba la clase desarrollaran unidades de programación y reflexionaran sobre su elaboración, favoreciendo así la reconstrucción del diseño didáctico propio.

El programa se desarrolló en dos contextos diferenciados. Un contexto presencial en el que se trabajó en gran grupo y un contexto no presencial en el que los grupos de trabajo elaboraban su propuesta de unidad de programación. En ambos contextos el eje del trabajo fue el modelo conceptual ser vivo.

El trabajo con todo el grupo clase se realizó durante el segundo cuatrimestre. El hilo conductor de las clases prácticas fue el crecimiento y desarrollo humano. Tomando como punto de partida la pregunta: «¿Cómo llega el calcio de la leche a mis huesos?» se presentaron las subpreguntas: «¿Como sabemos que la leche tiene calcio?», «¿Qué camino sigue la leche en el interior del cuerpo?» Para resolver las cuestiones planteadas se planificaron actividades prácticas que trataban contenidos relativos a las interacciones entre el medio externo y el medio interno de un sistema vivo, la diversidad de escalas, de macro a micro, que permiten explicar los fenómenos y los procesos auto-organizadores que realizan los sistemas vivos.

El trabajo en pequeños grupos se desarrolló durante todo el curso. Durante el primer cuatrimestre se propuso a los estudiantes escoger un animal que pudiera mantenerse vivo en un aula de primaria, y cuidarlo durante todo el curso académico. Al finalizar el primer cuatrimestre, cada grupo debía diseñar una unidad didáctica sobre el ser vivo elegido. A lo largo del segundo cuatrimestre cada grupo debía reformular su propuesta de unidad didáctica, aplicando los nuevos conocimientos adquiridos, entre ellos los del modelo complejo de ser vivo. La estructura de ambos trabajos estaba abierta a las sugerencias del alumnado; la única condición establecida era la de presentarlos en un documento digital compuesto por diapositivas que integraran texto e imágenes.

Los trabajos recogidos eran archivos de Power Point con dos partes diferenciadas. En la primera parte el alumnado hacía una presentación del ser vivo objeto de trabajo. En la segunda presentaba las propuestas didácticas concretas que se componían de preguntas y tipos de actividades. Dichos trabajos sirvieron como muestras para el desarrollo de la investigación.

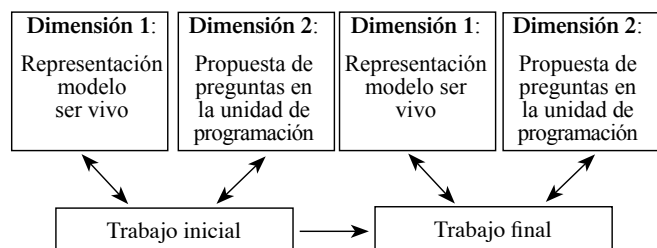
4.1. Muestras y dimensiones de análisis

Tal como se ha comentado, para realizar la investigación evaluativa del programa se seleccionaron como muestras las unidades didácticas iniciales y finales realizadas por el alumnado. Sobre un total de once grupos, se seleccionaron al azar las producciones de cuatro constituidas por 8 trabajos, 4 iniciales (AMI, CI, GI, EFI) y cuatro finales (AMF, CF, GF, EFF) cuyos nombres correspondían a los

animales objeto de estudio: pato mudo, conejo, guppy y escarabajo de la harina respectivamente. El análisis se focalizó en las diferencias halladas entre las producciones iniciales y finales de los cuatro grupos escogidos.

La información analizada en cada muestra adquirió dos dimensiones (Figura 1). La primera, la de las representaciones del modelo de ser vivo elaboradas por el alumnado en sus producciones; y la segunda, centrada en las propuestas de unidades de programación realizadas por el alumnado.

Figura 1
Información analizada en cada una de las muestras.



En relación con la primera dimensión, el análisis se centró en detectar, antes y después de la aplicación del programa, la posible distancia entre la representación del modelo mental del alumnado y las características del modelo conceptual complejo de ser vivo. Con respecto a la segunda dimensión se optó por focalizar el análisis en la comparación entre las preguntas propuestas por el alumnado en sus unidades didácticas y los aspectos del modelo ser vivo que éstas podían poner de manifiesto.

5. DISEÑO DEL INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN

Determinadas las muestras de análisis, el siguiente paso fue diseñar un instrumento de evaluación. De acuerdo con la propuesta de conocimiento didáctico del contenido (Shulman, 1986; Martín del Pozo y Porlán, 1999), en el diseño se contemplaron dos tipos de unidades de análisis: las referentes al conocimiento de la materia específica y las relativas al conocimiento de cómo enseñar dicha materia.

5.1. Unidades de análisis relativas al conocimiento de la materia específica

Las unidades de análisis relativas al conocimiento de la materia se centraron en el análisis de la relación entre la representación del modelo mental del alumnado y el modelo conceptual complejo de ser vivo. Dichas unidades de análisis se estructuraron en un contínuum que iba desde una perspectiva general a una específica y se organizaron en *ámbitos, categorías e indicadores*, determinando tres niveles de análisis (Bonil y Pujol, 2008).

Los *ámbitos* fueron creados para establecer el primer nivel de análisis. Constituyen elementos clave que caracterizan los modelos conceptuales complejos y pueden aparecer como aspectos significativos del contenido del programa a evaluar. Se definieron cuatro ámbitos: a) *Perspectiva sistémica*, b) *Causalidad*, c) *Irreversibilidad*, d) *Azar e indeterminación*. Su uso durante la evaluación del programa permitió agrupar la información obtenida en cuatro grandes bloques significativos para la construcción del modelo conceptual complejo de ser vivo.

Las *categorías* se establecieron para determinar el segundo nivel de análisis. Se definieron como aquellos elementos más significativos y relevantes dentro de cada ámbito. El uso de categorías facilitó profundizar en los principios teóricos de cada ámbito y aplicarlos al análisis de las muestras.

Los *indicadores* se establecieron para concretar un tercer nivel de análisis. Se definieron como la información más relevante y oportuna en relación con las categorías propuestas y permitieron una aproximación operativa entre las muestras seleccionadas y el referente teórico que orientó la investigación. Su aplicación al análisis permitió señalar los elementos significativos de la muestra y realizar una primera selección de la información que, en fases sucesivas de reelaboración, llevaría a definir el valor del programa.

El análisis conjunto de los datos obtenidos al aplicar los ámbitos, las categorías y los indicadores al análisis de las muestras facilitó la obtención de datos pertinentes para elaborar la evaluación del programa.

5.2. Unidades de análisis relativas a cómo enseñar la materia

El análisis de los datos con relación a cómo enseñar la materia se centró en el la propuesta de preguntas de interés científico que el alumnado propuso en las unidades de programación que constituían la muestra.

Para obtener información significativa, a las unidades de análisis sobre el conocimiento de la materia se consideraron las habilidades cognitivo-lingüísticas que las preguntas promovían. Se analizaron así las habilidades de: *describir, definir, explicar y justificar* (Jorba et al., 1998) y se establecieron relaciones con las unidades significativas para el estudio, tomando como referencia la información presentada en la figura 2

A lo largo de la investigación se asignó a cada propuesta de preguntas tipologías de habilidades cognitivo-lingüísticas e indicadores, categorías y ámbitos del modelo conceptual ser vivo. Este proceso sirvió para organizar las preguntas y relacionarlas con las unidades de análisis, lo que facilitó el tratamiento de la información y la obtención de conclusiones.

Figura 2
Habilidades cognitivo-lingüísticas centradas en el modelo ser vivo
 Adaptación de Pujol a partir de Jorba, 1998.

HABILIDAD	PREGUNTAS
Describir	Características estructurales ¿Qué tiene? ¿Cómo es?
	Características dinámicas espaciales ¿Qué pasa?
	Características dinámicas temporales ¿Cuándo pasa?
	Interacciones ¿Cómo pasa?
Definir	Características estructurales ¿Qué es?
	Características dinámicas espaciales ¿Qué pasa?
	Características dinámicas temporales ¿Cuándo pasa?
	Interacciones ¿Cómo pasa?
Explicar	Procesos ¿Cómo funciona? ¿Qué hace que...? ¿Qué pasaría si...? ¿Qué necesita para...?
Justificar	Procesos ¿Por qué...? ¿Cómo puede ser que...?

6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de la información se desarrolló en tres fases. La primera fase, de recogida de datos, sirvió para detectar la información significativa dentro de las producciones iniciales y finales del alumnado. La segunda, de tratamiento de la información, permitió reelaborar los datos obtenidos con la finalidad de extraer información relevante para la evaluación del programa. Finalmente la tercera, de obtención de resultados, permitió la síntesis rigurosa de los datos para obtener una interpretación final que facilitará la elaboración de juicios de valor y proponer orientaciones para el cambio.

A continuación se presenta de forma descriptiva el análisis de la información. Si bien la investigación se realizó sobre cuatro muestras, para facilitar la comprensión del proceso evaluativo los ejemplos se centran tan sólo en un fragmento del análisis correspondiente a las muestras (CI y CF). En concreto se han tomado los datos correspondientes al ámbito «perspectiva sistémica». Aunque dentro de dicho ámbito se definieron seis categorías de análisis (Figura 3), en el ejemplo dado se considera únicamente la categoría A: *El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos.*

Figura 3
Categorías del ámbito «perspectiva sistémica».

- | |
|--|
| <p>A. El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos.</p> <p>B. El sistema tiene estructura, flujo (materia y energía) y funciones.</p> <p>C. Los sistemas naturales están en interacción con el medio.</p> <p>D. El sistema se autoorganiza como respuesta a las fluctuaciones del entorno.</p> <p>E. El sistema presenta límites y emergencias.</p> <p>F. Conciencia de la existencia de diferentes niveles sistémicos que pueden ser estudiados de forma conjunta.</p> |
|--|

6.1. Primera fase: recogida de datos

En esta fase se tomaron como referencia las muestras de análisis con la finalidad de seleccionar aquella información que fuera relevante para alcanzar los objetivos propuestos en la investigación. Para ello se recogieron los datos en una tabla donde se describía la presen-

cia de los indicadores de evaluación en cada una de las muestras (Figura 4), tanto los relativos al modelo mental como a la propuesta de preguntas. Como se observa en el ejemplo, el número de la columna hace referencia a la diapositiva analizada, mientras que el número inicial del texto hace referencia al indicador de evaluación que se considera relevante, y el texto describe la presencia del indicador en la muestra.

Figura 4
Tabla cualitativa de recogida de datos.

	16	17
A. El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos.	3. En referencia al modelo , se presenta la relación entre crecimiento y nutrición a partir de la interacción individuo/medio, las características de cada elemento y los mecanismos que tienen los individuos para capturar y transformar materia y energía.	3. En referencia a las preguntas , la propuesta establece la relación entre crecimiento y nutrición a partir de la interacción individuo/medio, las características de cada elemento y los mecanismos que tienen los individuos para capturar y transformar materia del medio.

La segunda operación consistió en la elaboración de una tabla resumen de toda la información obtenida. En la figura 5 se muestra un ejemplo. En ella se usa la letra M para las referencias a la representación del modelo y la letra P para las referencias a las propuestas de preguntas. Las filas indican el número de diapositiva analizadas y las columnas la referencia a los indicadores de evaluación.

Figura 5
Tabla cuantitativa de recogida de datos.

PERSPECTIVA SISTÉMICA				
	0	A1	A2	A3
8				
9				
10		P		
11				
12				
13				
14				
15				M
16				M
17				P

6.2. Segunda fase: tratamiento de la información

Para tratar la información se tomaron como punto de referencia los datos obtenidos en la fase anterior. El objetivo fundamental fue reagrupar la información con la finalidad de favorecer la obtención de resultados.

En primer lugar se agrupó la información recogida y se organizó tomando como referencia los indicadores de evaluación (Figura 6).

Figura 6
Tabla de agrupación de información por indicadores.

A. El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos.	
3. La relación: 3.1. Sí se explicita 3.2. No se explicita	<p>Con relación al modelo, la presentación del conejo se hace teniendo en cuenta las características de su medio interno en forma de mecanismo que, en interacción, permite realizar la función de nutrición como relación explícita entre elementos que forman el conejo. (Diap. 15 y 16).</p> <p>Con relación a las preguntas: «¿Cómo lo hace el cuerpo del conejo para transformar los alimentos en excrementos y en orina y aprovechar aquello que necesita para crecer?» (Diap. 17 y 18). La cuestión favorece una visión explícita de los elementos que forman el conejo tomando como referencia la nutrición, ya que puede facilitar que en la respuesta se integre la entrada de alimento y la salida de excrementos y la función de nutrición como función que facilita esta transformación. «Cuando un conejo deja de crecer de tamaño, ¿le sigue creciendo el pelo?» (Diap. 17). La cuestión favorece una visión explícita de la relación entre los elementos que forman el conejo, ya que puede permitir el establecimiento de conexiones entre una parte del conejo y su globalidad como individuo a partir de su crecimiento.</p>

A continuación se realizó una reducción de datos que permitió obtener la relevancia de cada categoría. Los datos obtenidos se organizaron de acuerdo con las dimensiones de análisis: representación del modelo mental y propuesta de preguntas tal como se muestra a continuación:

A. El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos.

Esta categoría aparece a nivel de modelo y tipos de preguntas.

*En relación con el **modelo**, se presenta el conejo como un sistema vivo, ya que presenta de forma explícita el conejo como un espacio de interacción entre diversidad de elementos.*

*En relación con las **preguntas**, se presentan básicamente dos tipos:*

Las preguntas del tipo: «¿qué significa este dibujo para ti?, ¿tiene aparato digestivo?, ¿cómo funciona?» están centradas en un único nivel sistémico, lo cual puede favorecer la identificación de elementos pero difícilmente la interacción, ya que se focalizan en una única escala.

Las preguntas: «¿qué relación estableces entre el conejo y el campo de zanahorias?, cuando el conejo crece de tamaño, ¿qué ha crecido en su interior?, cuando el conejo deja de crecer en tamaño, ¿le sigue creciendo el pelo?, cuando el conejo crece, ¿sólo le crecen los huesos?; si crees que no, ¿qué le crece? y ¿qué tiene la comida del conejo para que los huesos le crezcan?, ¿hay calcio dentro de los huesos?, ¿dónde está?, piden que el alumnado establezca relaciones entre dos niveles sistémicos, ya que la elaboración de las respuestas puede favorecer el establecimiento de interacciones entre los elementos que forman el sistema para explicar los procesos que se presentan.

Seguidamente se procedió a tratar la información relativa a las representaciones del modelo mental (conocimiento de la materia) y la de las propuestas de preguntas (conocimiento sobre la forma de enseñar) de manera diferenciada. Así, con respecto a la representación del modelo mental se compararon los datos obtenidos en el análisis de los trabajos iniciales y finales de la misma muestra agrupados por categorías utilizando una tabla de comparación (Figura 7).

Figura 7

Tabla de comparación de datos entre trabajos iniciales y finales.

PERSPECTIVA SISTÉMICA	
Inicial (CI)	Final (CF)
A. El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos.	A. El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos.
La presencia del sistema se centra en la identificación de los elementos estructurales característicos del conejo (pelo, masa, ojos) y en las referencias continuadas a la variación de masa como aspecto determinante del crecimiento del conejo.	Se presenta el conejo como un sistema vivo, ya que presenta de forma explícita el conejo como un espacio de interacción entre diversidad de elementos.

La lectura de la tabla permitió observar cómo en relación con la categoría A el trabajo final presentaba un avance significativo respecto al inicial, pues se pasaba de una visión estructural (presente en el trabajo inicial) a una que tomaba como punto de referencia las interacciones (como se observa en el trabajo final).

Con relación a las propuestas de preguntas se realizó un análisis que permitió asignar categorías y ámbitos a cada propuesta. Para elaborarlo se diseñó una nueva tabla (Figura 8), cuyas filas representan las propuestas de pre-

guntas, y las columnas, las categorías definidas dentro de cada ámbito. Cuando en una pregunta resultaba significativa la presencia de la categoría correspondiente, se sombreaba una casilla.

Figura 8

Tabla de asignación de categorías a cada pregunta.

PREGUNTA	A
¿Qué significa este dibujo para ti? ¿Qué relación estableces entre el conejo y el campo de zanahorias?	
Cuando un conejo crece en tamaño, ¿qué ha crecido en su interior?	

Posteriormente se asignó una tipología cognitivo-lingüística a cada pregunta. Para hacerlo se recurrió de nuevo al texto justificativo como el que se muestra a continuación:

La pregunta: «cuando un conejo crece en tamaño, ¿qué ha crecido en su interior?» puede favorecer la identificación del conejo como un sistema (categoría A), ya que parte de una visión integradora de los elementos estructurales que forman el conejo. Se puede categorizar como una pregunta para **explicar procesos vitales**, ya que su finalidad es que el alumnado produzca razones o argumentos de manera ordenada, estableciendo relaciones causales entre diversidad de niveles sistémicos.

Por último, se asignó a cada propuesta de pregunta simultáneamente una categoría y una tipología cognitivo-lingüística (Figura 9).

Figura 9

Tabla de asignación de categorías y tipologías cognitivo-lingüísticas a cada pregunta.

PREGUNTA	A	TIPOLOGÍA
¿Qué significa este dibujo para ti? ¿Qué relación estableces entre el conejo y el campo de zanahorias?		Describir interacciones.
Cuando un conejo crece de tamaño, ¿qué ha crecido en su interior?		Explicar procesos vitales.
¿Todo lo que come lo convierte en excrementos y orina? ¿Por qué?		Justificar procesos vitales.

Así, por ejemplo, puede verse que la pregunta «Cuando un conejo crece en tamaño, ¿qué ha crecido en su interior?» favorece la presencia de la categoría A: «El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos» y, a su vez, ello responde a la habilidad cognitivo-lingüística de «explicar procesos vitales». De este modo se relacionan las categorías significativas con las habilidades cognitivo-lingüísticas que favorecen su presencia.

6.3. Tercera fase: obtención de resultados con relación a la representación del modelo ser vivo

El proceso seguido para obtener resultados relativos a las representaciones del modelo mental del alumnado se muestra en la figura 10.

Para obtener los resultados finales relativos a las representaciones del modelo mental del alumnado, se analizó la información en relación con las categorías, para después analizar la información relativa a cada uno de los ámbitos.

Como instrumento se utilizó un gráfico que permitía representar la tendencia al cambio entre el trabajo inicial y el final (Figura 11). En dicho gráfico el sentido de la flecha indica en qué trabajo es más alta la presencia de la categoría. Si la presencia es equivalente en ambos, se señala la categoría con un círculo.

Para facilitar la comprensión de la información se adjuntó un texto de carácter justificativo como el siguiente:

«La categoría A aumenta su presencia en el trabajo final respecto al trabajo inicial. En el trabajo inicial hay una visión muy estructurada de ser vivo que se reduce a la presencia sumativa de características estructurales. En el trabajo final se observa la presencia de un modelo en el que los diferentes elementos que nos permiten entender el animal como un sistema vivo se presentan en interacción» que servía de complemento a la información representada en el gráfico.

Una vez agrupada la información en categorías, el siguiente paso fue reorganizarla en ámbitos. Para ello se utilizó la misma tipología de gráficos que en el análisis por categorías.

La información obtenida se agrupó en una tabla (Figura 12), cuyas filas corresponden a los diferentes ámbitos que orientan la evaluación, y las columnas, a las muestras. En cada celda se coloca un símbolo que reproduce los utilizados en los gráficos que se complementa con información textual. La información recogida en la tabla ofrece una visión de conjunto que permite llegar a conclusiones generales sobre las muestras analizadas.

Figura 10
Obtención de datos en relación con la representación del modelo ser vivo.

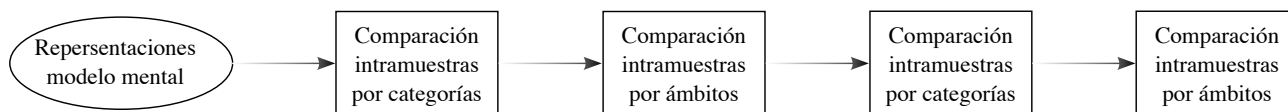


Figura 11
Gráfico para representar la tendencia al cambio respecto a las categorías.

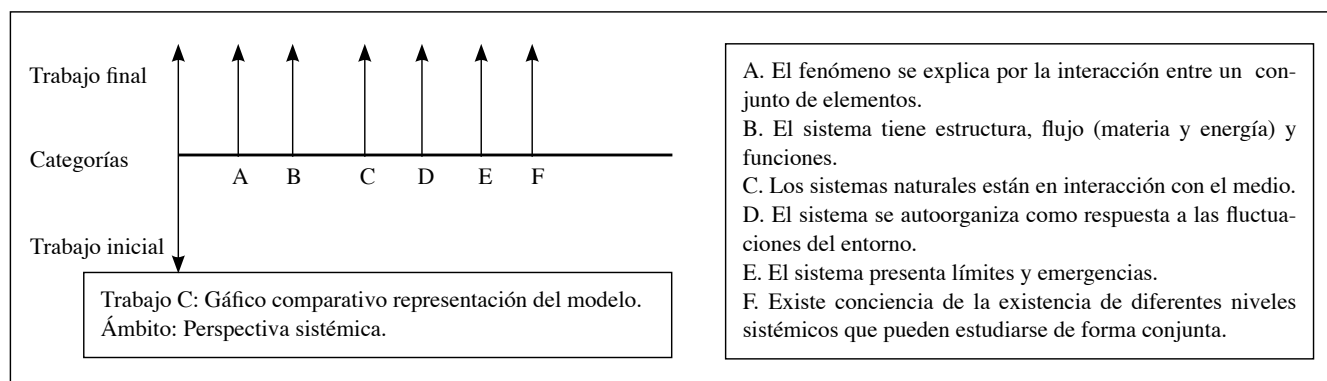


Figura 12
Tabla resumen de los datos obtenidos en cada uno de los ámbitos.

		MUESTRAS			
		AM (pato mudo)	C (conejo)	G (guppy)	EF (escarabajo)
ÁMBITOS	PS	↑ Se avanza hacia la presencia significativa de la perspectiva dinámica, dada la relevancia de límites y emergencias, estableciendo relaciones entre escalas.	↑ Hay presencia significativa de todas las categorías utilizadas en el análisis.	↑ Se avanza hacia la presencia significativa de la relación entre los elementos que forman el sistema, desde una perspectiva dinámica y con relevancia de límites y emergencias.	↑ Se avanza hacia la presencia significativa de todas las categorías de análisis.
	C	↑ Se avanza de la causalidad lineal al establecimiento de relaciones multicausales con un único efecto.	↑ Se avanza de la causalidad lineal al establecimiento de relaciones multicausales con un único efecto.	↑ Se avanza de la causalidad lineal al establecimiento de relaciones multicausales con multiefectos.	↑ Se avanza de la causalidad lineal al establecimiento de relaciones multicausales con un único efecto.
	I	↑ Se avanza hacia la presencia del eje temporal desde una perspectiva significativa orientadora del fenómeno de estudio.	↓ No se avanza en la presencia de este ámbito.	↑ Se avanza hacia la presencia desde una perspectiva significativa orientadora del fenómeno de estudio.	↓ No se avanza en la presencia de este ámbito.
	Ai I	↓ El trabajo posee una perspectiva determinista.	⊙ El trabajo posee una perspectiva determinista.	↓ El trabajo posee una perspectiva determinista.	⊙ El trabajo posee una perspectiva determinista.

La lectura de la tabla permite observar cómo en el caso de la muestra C el ámbito «perspectiva sistémica» (PS) adquiere una mayor presencia en el trabajo final que en el inicial. En referencia al ámbito «causalidad» (C), el cambio es muy puntual. En relación con el ámbito «irreversibilidad» (I), puede verse que tiene una mayor presencia en el trabajo final, mientras que en el ámbito «azar e indeterminación» (Ai I) no se observa ningún cambio entre los trabajos iniciales y finales.

6.4. Tercera fase: obtención de resultados en relación con la propuesta de preguntas

El proceso seguido para obtener resultados relativos a las propuestas de preguntas que realiza el alumnado se muestra en la figura 13.

Para obtener resultados finales relativos a la propuesta de preguntas, se realizó un análisis que tomó como

referentes las categorías y ámbitos, y su relación con las tipologías de habilidades cognitivo-lingüísticas. La presentación de la información se estructuró en dos niveles: las categorías agrupadas por ámbitos y los ámbitos.

En cuanto a las categorías agrupadas por ámbitos, el ejemplo ofrecido en la figura 14 permite observar que, en la muestra C, el alumnado únicamente propone preguntas favorecedoras de la presencia del modelo de ser vivo complejo en el trabajo final, posterior al desarrollo del programa. Al analizar la propuesta de preguntas se observa que, dentro de los interrogantes formulados por el alumnado, los que facilitan mayor presencia de categorías pertenecientes al ámbito «perspectiva sistémica» son aquellos centrados en la descripción de interacciones (A, B, C, D, F), en la explicación de procesos vitales (A, B, C, D, E, F) y en la justificación de procesos vitales (B, C, D, E, F).

Figura 13
Obtención de datos en relación con la propuesta de preguntas.

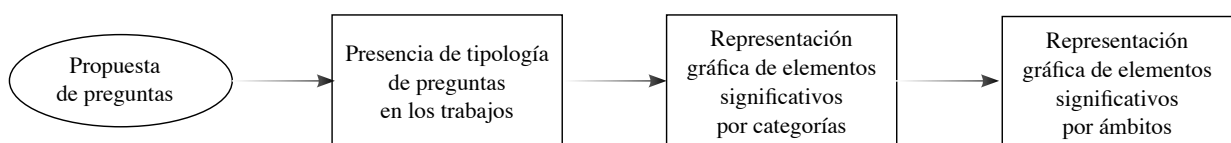


Figura 14
Tabla de asignación de categorías del ámbito «perspectiva sistémica» a las tipologías cognitivo-lingüísticas.

TIPOLOGÍA	CATEGORÍAS					
	A	B	C	D	E	F
a. Describir las características estructurales de los seres vivos.			GF		GF	GF
b. Describir características estructurales de partes del medio interno de los seres vivos.	C1F	C1F				
c. Describir características estructurales de partes del medio externo de los seres vivos.						
d. Describir categorías dinámicas espaciales de los seres vivos.	C1F EF2F			AMF C1F EF2F		C1F
e. Describir características dinámicas espaciales de partes del medio interno de los seres vivos.						
f. Describir características dinámicas espaciales de partes del medio externo de los seres vivos.						
g. Describir características dinámicas temporales de los seres vivos.	EF2F			AMF EF2F		
h. Describir interacciones.	C1F	C1F	C1F GF	C1F	GF	C1F
i. Explicar procesos vitales.	C1F	C1F GF	C1F EF2F GF	AMF C1F EF2F GF	C1F EF2F GF	AMF C1F EF2F GF
j. Justificar procesos vitales.		C1F	C1F GF	C1F	C1F GF	C1F GF

Figura 15
Tabla de asignación de ámbitos a las tipologías cognitivo-lingüísticas.

TIPOLOGÍA	ÁMBITOS			
	PS	C	A e I	I
a. Describir las características estructurales de los seres vivos.	GF			
b. Describir características estructurales de partes del medio interno de los seres vivos.	C1F			
c. Describir características estructurales de partes del medio externo de los seres vivos.				
d. Describir categorías dinámicas espaciales de los seres vivos.	AMF C1F EF2F			AMF
e. Describir características dinámicas espaciales de partes del medio interno de los seres vivos.				
f. Describir características dinámicas espaciales de partes del medio externo de los seres vivos.				
g. Describir características dinámicas temporales de los seres vivos.	AMF EF2F		EF2F	EF2F
h. Describir interacciones.	C1F GF			
i. Explicar procesos vitales.	AMF C1F EF2F GF	AMF C1F EF2F GF	C1F	AMF
j. Justificar procesos vitales.	C1F GF	C1F GF	C1F EF2F	

En relación con los ámbitos, como puede observarse en la figura 15, en la muestra C el alumnado únicamente propone preguntas favorecedoras de la presencia del modelo de ser vivo complejo en el trabajo final, posterior al desarrollo del programa. Se observa que, entre los interrogantes sugeridos por el alumnado, los que facilitan mayor presencia de ámbitos significativos son los relativos a la explicación de procesos vitales (*PS, C, I, AeI*) y los centrados en la justificación de procesos vitales (*PS, C, AeI*).

7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El proceso de evaluación del programa ha posibilitado obtener resultados que permiten emitir juicios en referencia a los dos objetivos que orientan la investigación: el valor que toma el programa y la elaboración de algunas orientaciones para favorecer la presencia del modelo conceptual ser vivo en la formación de profesorado de Educación Primaria. A continuación se presenta la discusión de los resultados en referencia a cada uno de los objetivos anteriores.

7.1. Discusión de los resultados respecto al valor que toma el programa

Los resultados obtenidos permiten identificar las categorías respecto a las que el programa favorece cambios, tanto en referencia a la representación del modelo mental del alumnado como respecto al tipo de preguntas que presenta el alumnado en sus producciones.

Con respecto a la representación del modelo mental del alumnado, los resultados globales obtenidos en la investigación muestran que los cambios significativos se producen en los ámbitos «perspectiva sistémica» y «causalidad», mientras que en los ámbitos «irreversibilidad» y «azar e indeterminación» no se manifiestan cambios significativos. Cuando centramos el foco de discusión en las categorías utilizadas para el análisis se puede observar:

Respecto al ámbito «perspectiva sistémica», el desarrollo del programa permite avanzar hacia la representación de un modelo que favorece la relación entre estructura, flujo y función. Estimula la presencia de la perspectiva sistémica considerando la interacción del individuo con el medio desde una perspectiva dinámica donde no hay presencia de procesos autoorganizadores. Se manifiesta una interrelación entre los niveles sistémicos macro, meso y micro, aunque en todos los casos la interrelación se orienta hacia el meso. El programa no posibilita la observación del sistema como un conjunto de elementos que interaccionan entre sí a partir de una red de relaciones.

Con relación al ámbito «causalidad» se detecta un avance hacia la representación del modelo ser vivo en el que convergen diversidad de causas para explicar un efecto desde una perspectiva unidireccional centrada en el meso. No se observa la presencia de relaciones simultáneas entre multicausas y multifectos desde perspectivas retroactivas y/o recursivas.

En cuanto a los ámbitos «irreversibilidad» y «azar e indeterminación», no se muestran cambios significativos entre los trabajos iniciales y finales. En la representación del modelo ser vivo que realiza el alumnado el tiempo no aparece como una variable relevante para entender el fenómeno. En las representaciones se explican los procesos desde una perspectiva determinista.

Con respecto a las propuestas de preguntas, el resultado global del análisis aplicado al conjunto de todas las muestras analizadas permite observar que el programa favorece la presencia de los ámbitos «perspectiva sistémica» y «causalidad» y no estimula la presencia de los ámbitos «irreversibilidad» y «azar e indeterminación».

Analizando los datos con detalle se puede observar que quince propuestas de preguntas estimulan la presencia del ámbito «perspectiva sistémica» que aparece en los cuatro trabajos finales analizados. Seis propuestas de preguntas favorecen la presencia del ámbito «causalidad» que se detecta en los cuatro trabajos finales analizados. Sólo tres propuestas de preguntas ayudan a la relevancia del ámbito «irreversibilidad» que aparece en dos trabajos finales. Únicamente cuatro propuestas de preguntas favorecen la presencia del ámbito «azar e indeterminación» que aparece en dos trabajos finales.

Los futuros maestros utilizan siete tipologías cognitivo-lingüísticas de preguntas. Las que favorecen la presencia de mayor número de categorías son la *explicación de procesos vitales*, seguida de la *descripción de las características dinámicas temporales de los seres vivos* y de la *justificación de procesos vitales*. La *explicación* favorece la presencia de los cuatro ámbitos en que se ha centrado el análisis de los trabajos, mientras que las otras dos tipologías facilitan la aparición de tres de los ámbitos considerados.

7.2. Orientaciones didácticas

Los datos obtenidos permiten proponer algunas orientaciones didácticas que contemplan tanto la forma de presentar los sistemas vivos en el aula como los tipos de preguntas que se pueden proponer al alumnado.

1) En cuanto al enfoque de los sistemas vivos en las clases de Didáctica de las Ciencias, los datos obtenidos permiten proponer las siguientes orientaciones:

a) *La consideración de los fenómenos como sistemas en que se explicitan los elementos que los componen a nivel micro facilita:*

– La visión de los fenómenos como conjuntos de sistemas en donde interaccionan diversidad de elementos (ámbito «perspectiva sistémica»), dado que el meso siempre aparece como el resultado de un conjunto de estructuras que interaccionan entre sí a nivel micro.

– La conciencia de la existencia flujo, estructura y función y el establecimiento de relaciones significativas entre los tres aspectos (ámbito «perspectiva sistémica»), ya que los elementos que forman el micro se pueden di-

ferenciar y se pueden establecer vínculos significativos entre ellos.

– La presencia de multicausas y multiefectos (ámbito «causalidad»), la cual puede potenciar que los modelos explicativos elaborados por el alumnado contemplan relaciones multicausales a nivel micro que tienen su reflejo en diversidad de efectos a nivel macro.

b) La presentación de los fenómenos como el resultado de la interacción entre los niveles meso, micro y macro puede favorecer:

– La significatividad de las interacciones entre los individuos y el medio externo (ámbito «perspectiva sistémica»), dado que puede ayudar a poner de manifiesto que las interacciones se pueden explicar y justificar como relaciones entre niveles sistémicos.

– La relevancia de la causalidad retroactiva (ámbito «causalidad»), ya que puede evidenciar cómo las interacciones comportan cambios en la diversidad de niveles sistémicos que se relacionan.

– La imposibilidad de conocer todas las causas y efectos que entran en juego en la dinámica sistémica (ámbito «azar e indeterminación»), ya que puede ayudar a que el alumnado descubra que existen múltiples causas y efectos que explican la dinámica sistémica y que no todos se pueden conocer.

c) La presentación de los fenómenos como procesos orientados en un eje temporal puede favorecer:

– La consideración de límites y emergencia que puede aparecer en la evolución de un sistema (ámbito «perspectiva sistémica»), ya que la previsión de situaciones posibles puede poner en evidencia la existencia de itinerarios de cambio viables, e itinerarios que no lo son.

– La presencia de la recursividad (ámbito «causalidad») ya que pone en evidencia que pequeñas causas pueden comportar grandes efectos a partir del encadenamiento de procesos.

– La relevancia de la evolución autoorganizadora de los sistemas (ámbito «causalidad») ya que pone en evidencia los procesos continuos que se dan en los organismos vivos haciendo que su estudio contemple el cambio como un factor determinante.

– La significatividad de la historia del sistema (ámbito «irreversibilidad») ayuda a poner de manifiesto que la evolución de un sistema se orienta en el tiempo y por lo tanto no sólo no se puede volver a una situación anterior, sino que su comprensión requiere una perspectiva histórica.

2) En referencia a la clase de preguntas planteadas en las clases de Didáctica de las Ciencias Experimentales, los datos obtenidos en la investigación nos permiten proponer algunas orientaciones que pueden favorecer la evolución de los modelos del alumnado hacia modelos complejos:

a) El planteamiento de preguntas explicativas puede ser una herramienta potente, ya que la elaboración de su respuesta comporta la necesidad de establecer relaciones causales entre niveles sistémicos, favoreciendo la presencia de:

– La perspectiva sistémica, que puede permitir la identificación de los niveles micro, meso y macro y las relaciones de interdependencia dadas entre ellos.

– La causalidad, ya que puede permitir la conciencia, por parte del alumnado, de las relaciones multicausales y los multiefectos derivados que pueden tenerse en cuenta para explicar la situación en que se encuentra un sistema.

– El azar y la indeterminación, ya que el establecimiento de relaciones causales puede poner en evidencia la dificultad de conocer y/o controlar todas las variables que intervienen en el estado de un sistema vivo.

b) El planteamiento de preguntas descriptivas, especialmente las referidas a descripción de procesos, puede constituir un recurso, ya que posibilita entender los sistemas vivos como entidades dinámicas, favoreciendo la presencia de:

– La perspectiva sistémica, ya que puede favorecer la reflexión en torno a las estructuras y los flujos que se dan en los sistemas vivos así como los procesos autoorganizadores que posibilitan su continuidad en el tiempo.

– La causalidad, ya que puede poner en evidencia los bucles recursivos y retroactivos dados en los sistemas vivos al encadenar secuencias de causas y efectos.

– El azar y la indeterminación, ya que puede ayudar a entender al alumnado que existen diversidad de itinerarios posibles en la vida de un organismo.

– La irreversibilidad, ya que trabajar procesos comporta situarlos en un eje temporal y, por lo tanto, poner en evidencia la relevancia del tiempo en el momento en que se tratan los sistemas vivos.

c) La presencia de preguntas justificativas se convierte en un recurso muy potente pues permite que el futuro profesorado de educación primaria haga referencia de manera continuada al modelo conceptual de ser vivo para elaborar respuestas a las cuestiones planteadas. Este aspecto favorece los procesos de modelización, ya que de forma continuada demanda al alumnado una explicitación, negociación y reestructuración de su modelo mental, tomando como punto de referencia al modelo conceptual de ser vivo.

8. CONCLUSIONES

La discusión de los datos pone en evidencia la distancia que existe entre los objetivos del programa y los resultados obtenidos. Se observa la dificultad de conseguir que el alumnado represente a los seres vivos de forma compleja, aunque se observa un avance significativo hacia la

perspectiva sistèmica. Se puede decir que el programa se muestra más sistèmico que complejo, ya que, aunque estimula cambios en el ámbito «perspectiva sistèmica», manifiesta insuficiencias en relación con los de «causalidad», «irreversibilidad» y «azar e indeterminación».

En referencia a las orientaciones didácticas los resultados de la evaluación permiten obtener algunas orientaciones generales que pueden enriquecer el programa con la finalidad de favorecer la evolución del modelo ser vivo del alumnado hacia un modelo complejo. De forma general parece óptimo trabajar simultáneamente tanto las representaciones del modelo mental que elaboran los futuros profesores como su aplicación en las propuestas que realizan para llevar a cabo unidades didácticas, dado que el análisis muestra coherencia entre los resultados obtenidos en cada una de las dimensiones.

En referencia a la evolución del modelo ser vivo, dichas orientaciones se concretan de forma general en:

– La necesidad de presentar en el aula los fenómenos como sistemas, tomando como referencia el nivel meso entendido como el resultado de la interacción entre las escalas micro y macro.

– Plantear al alumnado situaciones que demanden imaginar la evolución de los sistemas vivos en el tiempo.

Con relación a la propuesta de preguntas, parece interesante potenciar aquellas cuestiones que favorecen el trabajo de las habilidades cognitivo-lingüísticas centradas en *explicar, describir procesos y justificar*.

Una vez evaluado el programa y definidas algunas orientaciones, aparece la necesidad de continuar investigando para identificar los obstáculos que dificultan la evolución de los modelos mentales del alumnado. Obstáculos que pueden derivarse tanto del diseño y puesta en práctica de los programas como de la colisión que significa para el alumnado el enfrentar sus modelos mentales con los modelos conceptuales complejos. Dicho aspecto comportará definir nuevos objetivos de investigación.

Finalmente, parece relevante plantearse que la introducción de la complejidad en un programa de Didáctica de las Ciencias Experimentales va más allá de establecer un proceso de modelización. Comporta además un proceso de cambio de reglas a la hora de pensar, comunicar y actuar sobre el mundo. Aparece el reto de redefinir los modelos conceptuales de la ciencia escolar en forma de sistemas complejos y buscar nuevas herramientas metodológicas que permitan llevarlos al aula, tanto en la formación inicial de profesorado como en el resto de ámbitos de interés para la educación científica.

NOTA

1. Este artículo ha sido elaborado en el marco del Proyecto de Ambientación de la materia de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la UAB y de la UdG: Diagnóstico, diseño de intervenciones y análisis del proceso, financiado por el MCYT BSO 2001-2488-C02-01.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BONIL, J., SANMARTÍ, N., TOMÁS, C. y PUJOL, R.M. (2004). Un nuevo marco para dar respuesta a las dinámicas sociales: el paradigma de la complejidad. *Investigación en la Escuela*, 53, pp. 5-19.
- BONIL, J. y PUJOL, R.M. (en prensa). El paradigma de la complejidad, un marco de referencia para el diseño de un instrumento de evaluación de programas en la formación inicial de profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*.
- BORRELL, E. y CHAVARRIA, X. (1998). *L'avaluació interna del centre*. Barcelona: Dossiers Rosa Sensat.
- CAPRA, F. (1996). *La trama de la vida, una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona: Anagrama.
- CARR, W. y KEMMIS, S. (1988). *Teoría crítica de la enseñanza*. Barcelona: Martínez Roca.
- DE MIGUEL, M. (1988). Paradigmas de la investigación educativa española, en Dendaluce, I. [coord.]. (1988). *Aspectos metodológicos de la investigación educativa*. Madrid: Narcea. pp. 60-77.
- GARCÍA, A.R. y LÓPEZ, A.M. (2004). Complejidad, no linealidad y Didáctica de las Ciencias. *Investigación en la Escuela*, 53, pp. 53-69.
- GARCÍA, J.E. (1998). *Hacia una teoría alternativa de los contenidos escolares*. Sevilla: Díada.
- GARCÍA, J.E. (2004). Los contenidos de la Educación Ambiental: una reflexión desde la perspectiva de la complejidad, *Investigación en la Escuela*, 53, pp. 31-51.
- GELL-MANN, M. (1995). *El quark y el jaguar, aventuras en lo simple y lo complejo*. Barcelona: Tusquets.
- GIERE, R.N. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. Extra, pp. 63-70.
- GIMENO, J. (1988). *El currículum: una reflexión sobre la práctica*. Madrid: Morata.
- GUTIÉRREZ, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza aprendizaje. *Alambique*, 42, pp. 8-18.
- HOLLAND, J.H. (2004). *El orden oculto, cómo la adaptación crea la complejidad*. México: Fondo de Cultura Económica.
- IMBERNÓN, F. (2001). Claves para una nueva formación del profesorado. *Investigación en la Escuela*, 43, pp. 57-66.
- IZQUIERDO, M., ESPINET, M., GARCÍA, M.P., PUJOL, R.M. y SANMARTÍ, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. Extra, pp. 79-91
- IZQUIERDO, M., ESPINET, M., BONIL, J. y PUJOL, R.M. (2004). Ciencia escolar y complejidad. *Investigación en la Escuela*, 53, pp. 21-29.
- JOHNSON, S. (2003). *Sistemas emergentes, o qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software*. México DF: Turner, Fondo de Cultura Económica.
- JORBA, J., GÓMEZ, I. y PRAT, A. (coord.) (1998). *Parlar i escriure per aprendre*. Barcelona: Institut de Ciències de l'Educació.
- JUNYENT, M.; GELI, A.M.; ARBAT, E. (2003). Características de la ambientalización curricular: Modelo ACES, en Junyent, M., Geli, A.M. y Arbat, E. (2003). *Ambientalización curricular de los estudios superiores*, 2, pp 15-32, Girona: Servei de Publicacions de la Universitat de Girona.
- KAUFFMAN, S. (2003). *Investigaciones, complejidad, autoorganización y nuevas leyes para una biología general*. Barcelona: Tusquets.
- MARTÍN DEL POZO, R. y PORLÁN, R. (1999). Tendencias en la formación inicial del profesorado sobre los contenidos escolares. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 35, pp. 115-128.
- MATEO, A. y VIDAL, M.C. (1997). Enfocaments, mètodes i àmbits de la investigació psicopedagògica. Barcelona: UOC.
- MELLADO, V. (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), pp. 343-358.
- PÉREZ JUSTES, R. (1994). Investigación evaluativa, en García, V. (coord.). (1994). *Problemas y métodos de investigación en la educación personalizada*. Madrid: Rialp.
- PORLÁN, R. y RIVERO, A. (1998). *El conocimiento de los profesores*. Sevilla: Díada.
- PRIGOGINE, I. (1997). *El fin de las certidumbres*. Barcelona: Taurus.
- PUJOL, R.M. (2003). *Didáctica de las ciencias en la educación primaria*. Madrid: Síntesis.
- ROGER, E (2000). *Complejidad, elementos para una definición* [en línea] <<http://www.complejidad.org>>.
- ROSSI, P.H. y FREEMAN, H.E. (1993). *Avaluation, a Systemic Approach*, 5ª. edición Newbury Prak, Londres y Nova Delhi, Sage.
- SÁEZ BREMES, M.J. (1995). *Conceptualizando la evaluación en España*. Alcalá de Henares: Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares.
- SANMARTÍ, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis.
- SHULMAN, L. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Research*, 51(4), pp. 445-498.
- TIANA, A. (1997). *Avaluació de programes, centres i professors*, Barcelona: UOC.
- THOMSON, W.I. (coord.). (1989). *Gaia, Implicaciones de la nueva biología*. Barcelona: Kairós.
- VARELA, F. (1989). Haciendo camino al andar, en Thomson, W.I. (coord.) (1989). *Gaia, Implicaciones de la nueva biología*. Barcelona: Kairós.
- WAGENSBERG, J. (2005). *La rebelión de las formas*. Barcelona: Taurus.

[Artículo recibido en junio de 2007 y aceptado en diciembre de 2007]

Guidance to favour the presence of the complex conceptual model of «live being» in the initial training of teachers

BONIL, JOSEP y PUJOL, ROSA MARIA

Dep. Didáctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona

josep.bonil@uab.es

rosamaria.pujol@uab.es

Abstract

The current article tackles the investigative problem of the introduction of the complex conceptual model of a human being in the initial training of teachers specialising in Primary Education. The objective of the investigation consists of: defining didactic guidelines for the programme of the subject "Didactic of Experimental Sciences" in the initial training of Primary Education teachers which promotes the process of the model for the future teachers towards complex conceptual models.

The investigation centres on the changes that stimulate the programme in the representation of the mental model of human beings which is carried out by the future teachers before and after the application of the programme. To develop the evaluative investigation the projects undertaken by the students over the course are selected before and after the application of the programme.

The information analysed in every sample is centred on the representations of the human being model worked on by the future teachers and the component proposals of the programme carried out by the aforementioned model in Primary Education.

With respect to the representation of the human model, the analysis is centred on detecting, before and after the application of the programme, the possible distance between the representation of the mental model of the students and the characteristics of the complex conceptual model of a human being.

Concerning the units of the programme, it was deemed correct to focus the analysis on the relationship between the questions proposed by the students in their didactic units, and the aspects of the human being model where these can show up. The analysis of the data has concentrated on the questions of scientific interest put forward in the units of the programming that the teacher made up.

The conclusions of the investigation contribute some methodological guidelines which can favour the development of the mental model of the students towards the conceptual model proposed by contemporary science.

The results obtained over the course of all the analysis make it possible to establish the following guidelines to design a programme for the subject of Experimental Didactic Sciences

which promotes the introduction of the human being conceptual model from the perspective of complexity:

1) The importance to work simultaneously both with the representations of the mental model which are worked on by the future teachers, and its application in the proposals carried out to achieve didactic units.

2) Concerning the focus of the living systems in the didactic classes of sciences, the data obtained allows us to suggest the following guidelines that promote the presence of significant areas and categories for the investigation of the explanatory models of the students:

a) The consideration of the phenomena as systems in which the elements at a micro level are made explicit.

b) The presentation of the phenomena as a result of the interaction between levels, meso, micro and macro.

c) The presentation of the phenomena as processes set in a temporary aspect.

3) With reference to the type of questions set out in the classes of Didactic Experimental Sciences, the data obtained in the investigation permits us to propose some guidelines to design some questions that can promote the progress of the mental models of the students towards complex models:

– The creation of explanatory questions.

– The creation of descriptive questions, especially those referring to the description of the process.

– The presence of justifiable questions.

In a global way, the results of the investigation allow us to state that in order to strengthen the progress of the human mental model in future teachers, it is relevant that the subject of didactic Sciences considers three basic aspects: firstly to present human beings as systems which are explained at the micro level. Secondly, the meso level, conceived as a result of the interaction between micro and macro is to be taken as a reference point. And lastly, situations demanding that the students predict the evolution of the living system in time are proposed. Regarding the proposed questions, it is interesting to promote those which favour the work of the cognitive-linguistic abilities centred on explaining, describing and justifying processes.

