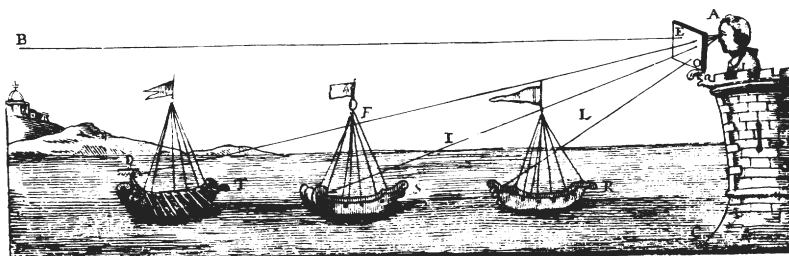


INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



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

BONIL, JOSEP y PUJOL, ROSA MARIA

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona

josep.bonil@uab.cat

rosamaria.pujol@uab.cat

Resumen. El presente artículo tiene un carácter básicamente metodológico. Toma como punto de partida la introducción del modelo conceptual *ser vivo*, definido desde la teoría de la complejidad, en la formación inicial de profesorado. Seguidamente aborda la necesidad de definir un instrumento que permita conocer los resultados de dicha introducción y obtener datos para orientar su mejora. Con dicha finalidad se presenta una investigación evaluativa que propone un instrumento para evaluar la presencia del modelo conceptual *ser vivo* en los contextos educativos. Finalmente se aportan algunas conclusiones de carácter metodológico que pretenden orientar la mejora tanto de la investigación evaluativa como del instrumento propuesto.

Palabras clave. Investigación evaluativa, instrumento metodológico, modelo conceptual *ser vivo*, formación de profesorado.

The paradigm of complexity, a frame of reference for the design of an instrument of evaluation of programs in the initial training of teaching staff

Summary. The present article has a basically methodological character. It takes as starting point the introduction of the conceptual model «living being», defined from the theory of complexity in the initial training of teaching staff. It then approaches the need to define an instrument that allows to know the results of this introduction and to collect data to orient its improvement. With this aim, it proposes evaluative research as the method of research, where aim instrument is proposed to evaluate the presence of the living being conceptual model in educational contexts. Finally some conclusions of a methodological nature are contributed, aim pretend to orient the improvement of evaluative research as the proposed instrument.

Keywords. Evaluation research, methodological tools, theoretical living being model, teacher training.

INTRODUCCIÓN

Las ciencias experimentales son una disciplina de conocimiento necesariamente creativa (Wagensberg, 2005). Constituyen una forma de ver el mundo que nos sugiere nuevas formas de posicionarnos delante de él, así como la elaboración de modelos explicativos que ordenan fracciones de la realidad. Además, las ciencias experimentales son una actividad con un fuerte carácter evaluador (Echevarría, 1998) que confiere al conocimiento generado su carácter de validez.

En los contextos de educación científica se reproduce la relación entre creatividad y evaluación. La creatividad se muestra como el emergente del diálogo entre el rigor y la espontaneidad (Bonil, 2004b). El rigor confiere a la acción didáctica el carácter disciplinar que asegura la conexión entre los modelos conceptuales generados por las ciencias experimentales y los modelos que aparecen en el aula. A la vez, la espontaneidad presenta el carácter abierto de la acción didáctica. La espontaneidad es un puente a la innovación que permite adecuarse a nuevas situaciones y estimula la búsqueda de nuevos enfoques, con la finalidad de que la formación científica pueda constituirse como una plataforma para formar a la ciudadanía ante los retos de nuestro tiempo.

En los contextos educativos, a menudo, la creatividad va acompañada de la acción evaluadora. La evaluación tiene una función de regulación de los procesos de enseñanza-aprendizaje, y permite al equipo que ha diseñado y aplicado la acción docente tener información válida y fiable que posibilite asignar el valor de la innovación realizada y oriente la dirección de sucesivos procesos educativos.

En el presente artículo se aborda el problema de cómo generar una forma de evaluación de programas que oriente la dirección de la innovación. Se ha tomado como referencia la formación inicial de maestros en la especialidad de Educación Primaria y en concreto el programa de la asignatura de Didáctica de las Ciencias Experimentales. En el diseño del programa se ha considerado como referencia conceptual la evolución durante el siglo XX del conocimiento científico hacia el emergente de la complejidad y su reflejo en la formación de maestros.

El artículo toma como punto de partida la propuesta de modelo conceptual *ser vivo* que hace la ciencia contemporánea una vez asumidos los principios de la complejidad. Dicha propuesta se centra en la escala *organismo* dada su alta significatividad en la etapa de educación primaria. Seguidamente se realiza la conceptualización y caracterización de la investigación evaluativa como modalidad de investigación que pretende asignar valor a un objeto y orientar el cambio. Por último se presenta el modelo de investigación evaluativa diseñado para evaluar un programa de la asignatura de Didáctica de las Ciencias Experimentales que se ha elaborado tomando como eje el modelo conceptual *ser vivo*. Dicho modelo es el fundamento conceptual que permite dotar de rigor

al instrumento de investigación evaluativa que se propone.

El artículo pretende orientar el cambio sobre la propia investigación evaluativa con la finalidad de mejorarla y hacerla accesible a diversidad de audiencias. Es por ello que el texto tiene un marcado carácter metodológico. Tanto la presentación del instrumento como las conclusiones pretenden ser una aportación metodológica a la investigación en el campo de la didáctica de las ciencias.

1. MODELO CONCEPTUAL *SER VIVO*

La presencia de la teoría de la complejidad en las ciencias experimentales ha tenido su referente en el campo de la biología. Tal como señala Reeves (2001), la vida presenta la tendencia a agruparse, pues «*un organismo compuesto por células especializadas resiste mejor que un conjunto de células idénticas ya que puede responder a las agresiones del entorno de diversas maneras y esto le da más oportunidad de sobrevivir. Los sistemas monolíticos acaban siempre por desaparecer*». Para Lewin «*los sistemas biológicos no pueden evitar la complejidad, ésta emerge de forma espontánea y aumenta con el tiempo*» (Lewin, 1995). La teoría de la complejidad pone en relación la autoorganización de la materia y la selección natural, creando lo que Lewin llama una física de la biología, y cambiando, así, el concepto de *equilibrio natural* por el de *complejidad de un sistema*.

Desde la perspectiva de la complejidad se puede entender un sistema vivo como un patrón autopoyético, resultado de un diálogo continuo entre la indeterminación que provoca la relación con el entorno y la capacidad autorreguladora del individuo (Wagensberg, 2005). Del resultado de este diálogo se originan un conjunto de procesos continuos que hacen posible la continuidad del ser vivo. Plantear esta dialógica supone considerar al ser vivo como un sistema diferenciado de su medio, como una unidad que es posible separar del entorno en cuanto a lo físico o perceptivo, aunque sea dependiente de él. Nos encontramos, pues, frente a un ente autónomo (Varela, 1989) que tiene un límite que divide el medio interno y el medio externo y que actúa como un sistema abierto que intercambia materia y energía con su entorno.

Dicho intercambio se puede situar a nivel escalar, estableciendo relaciones entre las perspectivas celular, de organismo, de especie, etc. (Terradas, 2006). En todas las escalas, el sistema se muestra abierto ya que establece de forma permanente relaciones multicausales de carácter retroactivo y recursivo entre las mismas.

Se puede entender el sistema vivo como un sistema compuesto (Maturana, 1989) ya que tiene un diseño en red formado por diversidad de elementos. En dicha red se puede definir una estructura, un flujo de materia y ener-

gía y una diversidad de funciones de forma interrelacionada (Prigogine, 1997).

La estructura se define como el conjunto de componentes del sistema y las relaciones que forman parte de una determinada unidad (Maturana, 1989). El flujo hace referencia a las fluctuaciones de materia y energía que intercambia el sistema con su entorno generando continuos cambios entrópicos. El último elemento es la función que ejecuta cada uno de los elementos del sistema. El conjunto de los tres componentes da lugar a la organización del sistema, entendida como la relación entre sus componentes, posibilitando que el sistema sea lo que afirmamos que es (Maturana, 1989), formando un patrón de organización que desde las ciencias experimentales se identifica como ser vivo.

Paralelamente, dentro del sistema se definen tres procesos simultáneos en forma de ejes dialógicos: la interacción, la autoorganización y el dinamismo.

La interacción va ligada a la interdependencia y se define como la relación continua que se da entre el sistema y su entorno. Los sistemas vivos se pueden entender como sistemas abiertos en constante interacción con su medio y con una visión jerárquica en la que un conjunto de sistemas en interacción forma un nuevo sistema, estando cada uno de ellos, a su vez, compuesto por un conjunto de sistemas de orden jerárquico inferior. Desde este punto de vista, los sistemas naturales se mueven en el eje dentro-fuera que define la relación entre la unidad autónoma y el entorno del que es interdependiente.

La autoorganización del sistema hace referencia a su capacidad para cambiar alguno de sus parámetros sin perder la unicidad. Es un mecanismo de respuesta del sistema a las fluctuaciones que recibe de su entorno. Los sistemas vivos se encuentran en permanente diálogo entre orden y desorden, producido por flujos de materia y energía que reciben del exterior y por su tendencia a disminuir la entropía interior. Es un constante proceso de autoorganización para dar respuestas a las fluctuaciones con el objetivo de garantizar su continuidad como sistemas vivos.

El dinamismo se define en el eje estabilidad-cambio y hace referencia al cambio constante en los sistemas naturales para garantizar su continuidad. Este mecanismo se puede producir internamente o bien transformando el entorno (Wagensberg, 2005) y es un proceso de transformación que permite orientar la trayectoria del sistema en el tiempo.

Entender los sistemas vivos desde esta perspectiva implica comprender cómo la autoorganización a la que hace referencia la biología permite la formación de sistemas naturales que se encuentran en constante orden de fluctuación, presentando de forma permanente límites y emergencias en su trayectoria (Lewin, 1995). Esta trayectoria, denominada autopoyesis, es consecuencia de procesos autorreguladores configurados por multitud de fluctuaciones que circulan por una red no lineal, donde la relación entre causas y efectos tiene una dimensión multicausal en una estructura de bucle en que las fluctuaciones se pueden or-

ganizar en ciclos de retroalimentación y recursividad que pueden ser a la vez positivos y negativos.

El conjunto de fluctuaciones produce una constante variación de entropía. Dicha entropía se puede diferenciar en dos niveles, uno interno y otro externo. Ambos niveles presentan una constante aportación de desorden al sistema a partir de los flujos de materia y energía desde orígenes diferentes. La entropía interna está ligada a la autorregulación del sistema y a los constantes flujos que se dan en su interior, los cuales garantizan la continuidad del sistema en procesos de regulación continuada que tienden a minimizar el desorden.

El intercambio de entropía externa lleva a considerar el azar y la indeterminación como elementos fundamentales para explicar la trayectoria del sistema vivo. En su trayectoria, la capacidad del sistema para hacer frente al azar y la indeterminación que llega del medio pueden llevarlo al límite del caos (Lewin, 1995) favoreciendo, así, momentos de máxima creatividad que comporten la emergencia de un nuevo modelo de interdependencia respecto al medio (Wagensberg, 2005).

En todo este proceso, conocer el patrón del sistema comporta integrar principios de la termodinámica del no equilibrio y de la teoría de la información. Dicha integración favorece entender cómo opera el sistema para garantizar su unidad y su independencia frente a la indeterminación del medio (Wagensberg, 2005). La termodinámica toma como referencia el concepto de *estructura disipativa* (Prigogine, 1997b) y la teoría de la información el concepto de *sistema complejo adaptativo* (Gell-Mann, 1995); la integración de las dos perspectivas nos permite entender el patrón de sistema vivo como sistema complejo.

El estudio de los sistemas vivos, tomando como referencia la complejidad, comporta considerar la doble dimensión de sustancia (o estructura) y de forma (o patrón). Es un planteamiento múltiple en el que se hace relevante considerar la perspectiva cuantitativa que comporta la estructura y la cualitativa que comporta entender un patrón de comportamiento.

En definitiva, la definición del modelo conceptual *ser vivo* desde la complejidad nos lleva al descubrimiento de relaciones, sin dejar de lado las entidades, así como a considerar procesos sin perder de vista los estados. Nos invita, también, a comprender los procesos de autoorganización desde una perspectiva de causalidad múltiple que se orienta en el tiempo. Y finalmente da relevancia al azar sin renunciar a un componente de determinismo en la forma de analizar y prever el itinerario de los sistemas vivos en el tiempo.

2. CONCEPTUALIZAR Y CARACTERIZAR LA INVESTIGACIÓN EVALUATIVA

La evaluación como actividad ha ido tomando diferentes significados en función del ámbito en que se ha realizado, el contexto sociocultural y las finalidades con las que se ha llevado a cabo.

Desde el campo científico, la investigación evaluativa aparece como una modalidad de investigación que tiene como finalidad última asignar valor a un objeto y orientar la toma de decisiones. Es una modalidad de investigación que, habitualmente, se asocia a paradigmas sociocríticos por su aspiración de facilitar información orientadora de la acción transformadora. Metodológicamente autores como Bartolomé (1997) consideran que la investigación evaluativa se puede inscribir, junto a la investigación acción, dentro de las metodologías de investigación orientadas al cambio y a la toma de decisiones.

Diversidad de autores presentan algunas definiciones sobre el concepto de *investigación evaluativa*: «*la aplicación sistemática de los procedimientos de la investigación social para valorar la conceptualización, el diseño, la implementación y la utilidad de los programas de intervención social*» (Rossi y Freeman, 1993). También Mateo y Vidal la definen como «*un proceso o conjunto de procesos para la obtención y análisis de la información en el que se puedan apoyar juicios de valor sobre el objeto, fenómeno o proceso, como soporte de una eventual decisión sobre el propio proceso*» (Mateo Vidal, 1997).

La investigación evaluativa se constituye, por tanto, como una modalidad de investigación que se caracteriza por la necesidad de emitir juicios de valor sobre una actuación proyectada o realizada. Es una modalidad que implica un proceso de recogida y análisis sistemático de la información y aplicación de criterios que garanticen la calidad del juicio emitido.

Cuando el objeto de la investigación evaluativa es el desarrollo de un programa educativo, la modalidad de investigación evaluativa es la evaluación de programas (Rossi, Freeman, 1993; Sáez, 1995; Tiana, 1997; Borell, Chavarria, 1998). Se entiende por programa «*toda actividad organizada que se prolonga en el tiempo para conseguir unos objetivos, que cuenta con un sistema de gestión y financiamiento y que va dirigida a un grupo de individuos y despierta interés en muchos otros.*» (Tiana, 1997). La evaluación de programa se constituye como (Pérez Justes, 1994) «*un proceso sistemático de recogida y análisis de información fiable y válida para tomar decisiones sobre un programa educativo*».

En la investigación evaluativa de programas confluye una doble dimensión: la formativa y la sumativa. Desde la perspectiva formativa, el objetivo se centra en comprender y mejorar un programa. Desde el punto de vista sumativo se busca sintetizar, descubrir o juzgar los resultados de dicho programa y tomar decisiones sobre su continuidad.

La investigación evaluativa de un programa educativo puede tener diversidad de finalidades en función del contexto sociocultural en el que se plantee, la audiencia de la investigación evaluativa y el colectivo que toma la iniciativa evaluadora. Algunas finalidades de la investigación evaluativa de programas (Tiana, 1997) son: conocer la eficacia de un programa e introducir modificaciones substanciales si es necesario; identificar los problemas

que tiene el programa en acción para que la información recogida sirva para el diseño de nuevos programas; identificar cambios en los resultados de los programas asociados a los contextos de aplicación y revisar la relevancia y validez de los principios sobre los que se basa el programa. En contextos piloto, sirve, también, para identificar los resultados no esperados de un programa para modificarlo y aumentar su eficacia.

En dichas finalidades confluye una diversidad de agentes interesados en el programa. Si tomamos como referencia la investigación evaluativa de un programa de la asignatura de Didáctica de las Ciencias en formación inicial de profesorado, la audiencia se puede situar en diversidad de escalas. En primer lugar, se puede señalar el interés por la evaluación del equipo que ha diseñado el programa. En segundo lugar, el interés por parte de la institución a la que pertenece el equipo ya que comparte el interés científico y la responsabilidad social de la implementación del programa. En tercer lugar, se sitúan personas del área de conocimiento que presentan afinidad con el campo disciplinar en el que se desarrolla la investigación.

En el caso concreto de la evaluación de programas de asignaturas universitarias aparece un fuerte carácter de acción social, ya que los programas son el resultado de decisiones de carácter ideológico que se mantienen o no por la presión de determinadas inercias sociales. La evaluación de programas puede dar información sobre la legitimidad de los objetivos de un programa docente y sus estrategias, y sobre la utilidad de éste para conseguir los objetivos previstos.

Un elemento fundamental para garantizar un óptimo proceso de investigación evaluativa es el rol del evaluador y su vinculación al programa evaluado. En la investigación evaluativa de programas existe una tendencia a la evaluación interna o bien a fórmulas complementarias entre evaluación interna y externa. El evaluador interno refleja un óptimo conocimiento del programa que, en algunas ocasiones, le dificulta la realización de una aproximación rigurosa. A la vez, los evaluadores externos pueden emitir juicios desde la distancia pero, en general, muestran dificultades para comprender todas las variables que intervienen en el diseño y desarrollo del programa (Sáez Bremes, 1995).

Con la finalidad de garantizar un proceso sistemático y riguroso, el diseño de la investigación evaluativa de programas sigue diferentes fases (Tiana, 1997):

– La primera fase es la de definición. Se acotan de forma clara las preguntas principales que la investigación ha de responder y se define el objeto de evaluación. Se consideran los objetivos que llevan a evaluar el programa, la información que será relevante para realizar la investigación evaluativa, las fuentes de datos de las que se puede disponer, etc.

– La segunda fase es la de aproximación al objeto de evaluación. Se hace el diseño del instrumento de evaluación y se establecen relaciones con el modelo conceptual,

permitiendo que la evaluación tome el carácter de juicio de experto.

– La tercera fase se centra en el procesamiento de la información recogida. Es una fase interpretativa en que los datos recogidos en la fase anterior pasan a ser la justificación del argumento que surge del proceso evaluador. Aunque se presenta en tercer lugar, es una fase que está en todo el proceso evaluador que toma una significatividad exclusiva en el momento final de la investigación evaluativa. Se estudian datos, se conocen significados, se hacen interpretaciones, todo ello desde una perspectiva que ha de garantizar la asignación final de valor a partir de la corrección del proceso.

A continuación se presenta cada una de las fases anteriores en el contexto específico de la evaluación de un programa de la asignatura de Didáctica de las Ciencias experimentales en formación inicial de maestros de educación primaria que toma como eje temático el trabajo sobre los seres vivos como sistemas complejos.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EVALUATIVA

Con el objetivo de facilitar el seguimiento y la comprensión del diseño de la investigación que se presenta, este apartado se estructura siguiendo las tres fases que definen la investigación evaluativa: fase de definición de finalidades, fase de aproximación al objeto de evaluación y fase de procesamiento de la información.

3.1. Fase de definición de finalidades

En la fase de definición de la investigación evaluativa se presentan las finalidades de la investigación, se acota contextualmente el objeto de evaluación, se definen las muestras que servirán para recoger la información relevante para la investigación y el perfil del equipo evaluador.

3.1.1. Finalidades y objetivos de la investigación

La investigación que se muestra tiene por finalidad evaluar un programa de la asignatura de Didáctica de las Ciencias Experimentales diseñado a la luz del paradigma de la complejidad. Dicho curso, impartido durante la formación inicial de profesorado de educación primaria, tomó como eje temático de trabajo el modelo conceptual de *ser vivo* elaborado desde la ciencia contemporánea (Thomson, 1989; GellMann, 1995; Kaufmann, 2003; Holland, 2004). La investigación perseguía asignar valor al programa y, al mismo tiempo, definir orientaciones didácticas favorecedoras de la evolución de los modelos mentales del futuro profesorado hacia los modelos conceptuales complejos.

Los objetivos metodológicos de la investigación se concretaron en:

– *Diseñar e implementar un proceso de investigación evaluativa que permitiera asignar valor al programa de*

la asignatura de Didáctica de las Ciencias Experimentales en formación inicial de profesorado y orientar su posible cambio.

– *Diseñar un instrumento de evaluación que permitiera evaluar la presencia del modelo conceptual complejo de ser vivo en producciones didácticas.*

3.1.2. Contexto y objeto de evaluación

El objeto de la investigación que se presenta es el programa de Didáctica de las Ciencias Experimentales impartido en el tercer curso de la titulación de Educación Primaria de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad Autónoma de Barcelona. Es un programa anual con una carga lectiva de ocho créditos divididos en 3,5 créditos teóricos y 4,5 créditos prácticos. La finalidad del programa se concretaba en tres grandes objetivos de los que se derivaban actuaciones específicas.

El primer objetivo perseguía lograr que el futuro profesorado fuera capaz de construir modelos explicativos sobre los seres vivos, elaborados a la luz del paradigma de la complejidad. Para ello resultaba imprescindible que los modelos conceptuales complejos tuvieran una presencia significativa en el día a día del proceso de su formación en el aula universitaria.

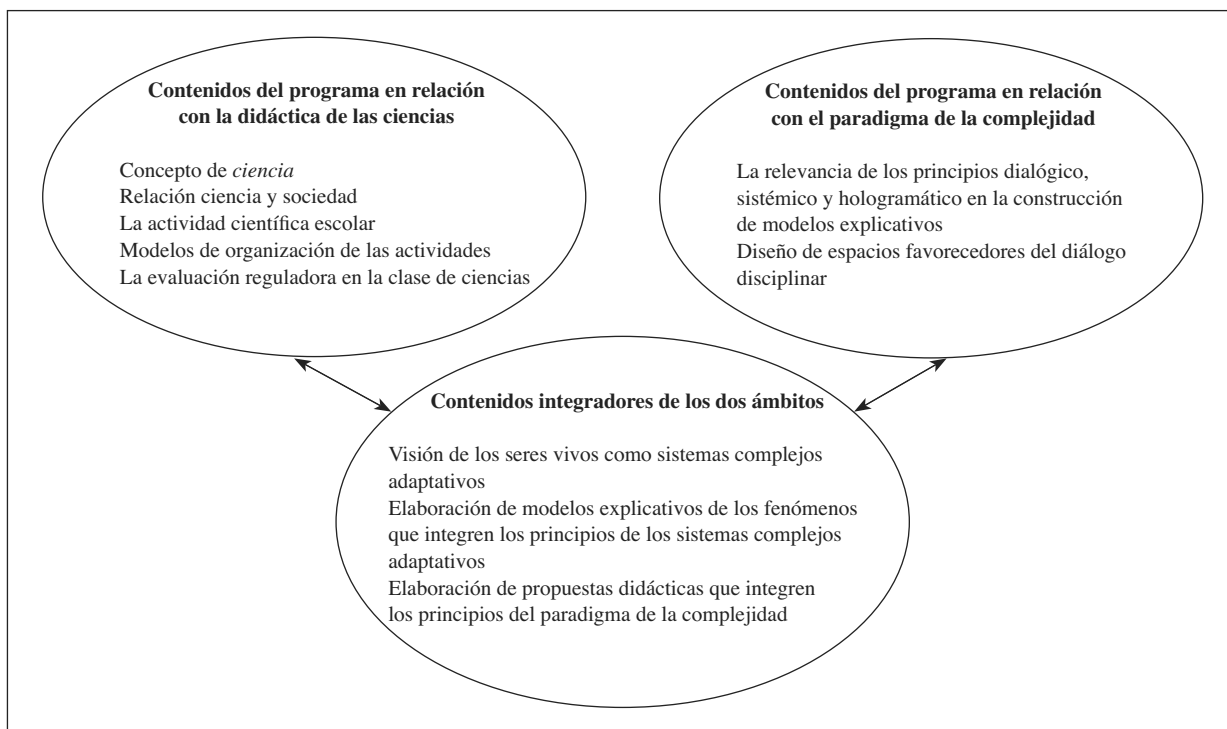
El segundo objetivo del programa era lograr que los estudiantes de magisterio fueran capaces de establecer conexiones significativas entre los modelos explicativos construidos en las clases de didáctica y el trabajo realizado en las aulas de educación primaria en las que, posteriormente, ejercerán su profesión. Ello demandaba una continua meta-reflexión sobre ejemplos concretos de experiencias de aula de educación primaria guiada desde los principios teóricos del paradigma de la complejidad.

Finalmente, el tercer objetivo del programa desarrollado buscaba favorecer la capacidad de los estudiantes de magisterio para diseñar actuaciones didácticas aplicables a las aulas de educación primaria. Para ello resultaba necesario desarrollar y reflexionar en la clase de didáctica sobre un modelo de diseño de unidades de programación que les permitiese ir reconstruyendo un diseño didáctico propio.

En la figura 1 se muestra un esquema con los contenidos básicos del programa desarrollado.

Para desarrollar los objetivos previstos se trabajó el modelo de *ser vivo*; una temática clave desde la perspectiva de la ciencia y desde el currículo de la escuela obligatoria. Así mismo, se pensó en el interés de trabajar el modelo de *ser vivo* de forma paralela mediante dos ejemplos distintos con la finalidad de potenciar su construcción desde distintos puntos de partida. Por un lado, durante las clases de didáctica se tomó como hilo conductor la temática del crecimiento y desarrollo humano. Paralelamente, cada grupo de estudiantes debía escoger un animal factible de introducir en un aula de primaria. Una vez escogido lo debía mantener vivo durante todo el curso.

Figura 1
Organización de los contenidos básicos del programa de la asignatura de Didáctica de las Ciencias.



Cada grupo de estudiantes debía, a final del primer cuatrimestre del curso, construir una unidad didáctica inicial sobre el ser vivo escogido. Al final del curso, una vez desarrollado el programa, cada grupo debía rediseñar la secuencia de actividades de la unidad didáctica inicial, aplicando los nuevos conocimientos adquiridos. La estructura de ambos trabajos estaba abierta a las sugerencias del alumnado, y se estableció como única condición que debían presentarse en un documento digital en formato ppt compuesto por diapositivas que integraran imágenes y texto.

3.1.3. Muestras de análisis

Las muestras escogidas son los elementos de los que se extrajo la información relevante para la evaluación. Dada la complejidad de los contextos didácticos las muestras pueden ser muy diversas y focalizarse en diversidad de ámbitos. Por ejemplo: los apuntes y notas de trabajo del alumnado, el análisis de su discurso, las producciones que elaboran como trabajos de cuatrimestre, etc.

En el caso concreto de la investigación que se propone se tomaron como muestras los trabajos realizados por el alumnado a final de cada uno de los cuatrimestres. Se pensó que es en este tipo de producciones donde el alumnado intenta reflejar su máximo grado de conocimiento del programa. También se debe considerar que, desde una perspectiva posibilista, el trabajo evaluativo a partir

de documentación facilita la realización del proceso evaluador, ya que permite una aproximación más ágil entre el equipo investigador y las muestras de análisis.

Un criterio importante a determinar es la forma de seleccionar las muestras, así como la cantidad seleccionada de las mismas. Los criterios pueden ser muy diversos y estarán condicionados tanto por aspectos propios del rigor de la investigación como por las posibilidades reales de un proceso de evaluación. El criterio de elección de muestras fue al azar y se estimó que una muestra significativa podía ser un mínimo del 40% de las producciones realizadas por el alumnado.

Para favorecer el rigor de la evaluación, el análisis de las muestras 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 de los modelos conceptuales complejos. Se supuso que la efectividad del programa quedaría en evidencia si la distancia entre ambos modelos era menor una vez realizada la docencia.

3.1.4. Perfil del equipo evaluador

El equipo evaluador se compone del conjunto de personas que planifican, realizan y definen las conclusiones de la investigación evaluativa. Dentro de la misma definición de investigación evaluativa se entiende que el

equipo evaluador está formado por personas expertas tanto en el aspecto conceptual como en el metodológico de la investigación permitiendo su fundamentación y garantizando su desarrollo.

En el caso que presenta el artículo, el equipo evaluador está formado por tres personas. Se constituye como un equipo en que convergen la psicopedagogía y la biología como disciplinas de conocimiento. Dicha característica pretende garantizar el rigor de la propuesta de instrumento en los niveles conceptual y metodológico. Las tres personas que forman el equipo se dedican profesionalmente a la didáctica de las ciencias experimentales aspecto que posibilita la vinculación entre la propuesta metodológica y el contexto de formación inicial de profesorado.

Dos de las personas del equipo elaboran propuestas de instrumentos de forma continuada. Dichas propuestas son validadas puntualmente, hasta en tres ocasiones, por la tercera persona que ejerce como evaluadora externa. La doble evaluación interna y externa parece una opción válida para garantizar la validez del trabajo realizado ya que complementa el conocimiento intenso del trabajo por parte de las dos primeras personas con una aproximación más distante por parte de la tercera persona que ayuda a enriquecer las opciones que se han tomado. En todos los casos la validación de las propuestas de instrumento de evaluación se realiza a partir de su aplicación a una muestra que se constituye como prueba piloto.

Una vez definidas las finalidades de la investigación, el objeto de evaluación, las muestras y el perfil del equipo evaluador, el siguiente paso consiste en la definición de la forma de aproximarse al objeto de evaluación.

3.2. Fase de aproximación al objeto de evaluación

En la segunda fase de la investigación evaluativa, el núcleo del trabajo es la definición de un instrumento de evaluación que refleje una aproximación rigurosa entre las muestras de análisis y un referente teórico que oriente la argumentación sobre el valor que se asigna al objeto evaluado.

El instrumento se fundamenta en un referente conceptual propio de la disciplina. En el caso que se expone, el referente es el modelo conceptual *ser vivo* elaborado por la ciencia contemporánea. Realizar dicha relación comporta una exhaustiva revisión de la literatura especializada del campo de la biología, tal como se ha desarrollado en el primer apartado del presente artículo, que recoge los referentes conceptuales fundamentales y establece relaciones entre ellos.

A su vez, el diseño del instrumento pretende contemplar una doble perspectiva metodológica. Desde una escala micro ha de permitir la aproximación a cada una de las muestras con la finalidad de obtener información significativa para la investigación evaluativa. Por otro lado, desde una perspectiva holística, posibilita establecer relaciones entre la información obtenida del análisis con la

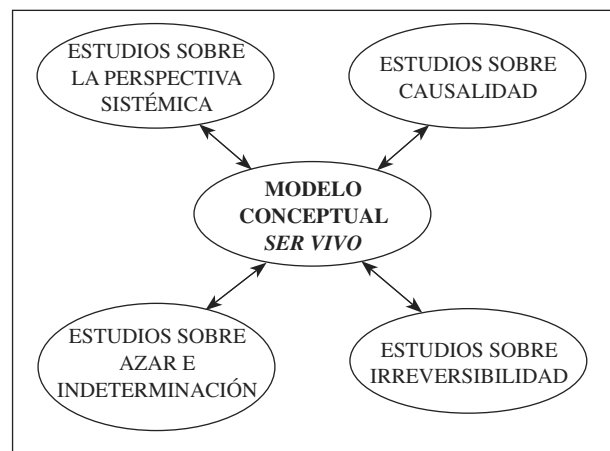
finalidad de elaborar conclusiones generalizables a otros contextos didácticos.

El instrumento de evaluación que se propone se compone de unidades de análisis que se estructuran en un *continuum* que va de la perspectiva general a la específica y que se organizan en *ámbitos, categorías e indicadores*, determinando tres niveles de análisis.

Los *ámbitos* se definen para establecer el primer nivel de análisis. Son aspectos significativos del contenido del programa a evaluar que se corresponden con elementos clave que caracterizan los modelos conceptuales complejos. Su aplicación durante el análisis del programa permite agrupar la información obtenida por el análisis de las muestras en cuatro grandes bloques significativos para la construcción del modelo conceptual complejo de ser vivo. La relación que se establece entre ámbitos no es de carácter jerárquico ni excluyente sino de tipo complementario, aspecto que hace posible la asignación de más de un ámbito a una misma muestra. En la figura 2 se presentan los cuatro ámbitos definidos: *a) estudios sobre la perspectiva sistémica, b) estudios sobre causalidad, c) presencia del azar y la indeterminación, d) estudios sobre irreversibilidad.*

Figura 2

Ámbitos que se definen en la evaluación del programa.



Las *categorías* determinan el segundo nivel de análisis. Constituyen los elementos más significativos y relevantes dentro de cada ámbito y permiten profundizar en los principios teóricos definidos en cada uno de ellos. La relación entre las categorías en que se estructura cada ámbito es complementaria y de carácter no jerárquico. En las figuras 3, 4, 5 y 6 pueden verse las categorías correspondientes a cada uno de los ámbitos definidos en el primer nivel de análisis. La aplicación de las categorías durante el análisis posibilita organizar la información de cada ámbito y dar solidez a la argumentación de los juicios emitidos. Una opción metodológica es definir, dentro de cada ámbito, la categoría \emptyset . Ésta se utilizará cuando no se observe presencia significativa del resto de categorías que definen el ámbito que se está evaluando.

Figura 3

Categorías en las que se estructura el ámbito perspectiva sistémica.

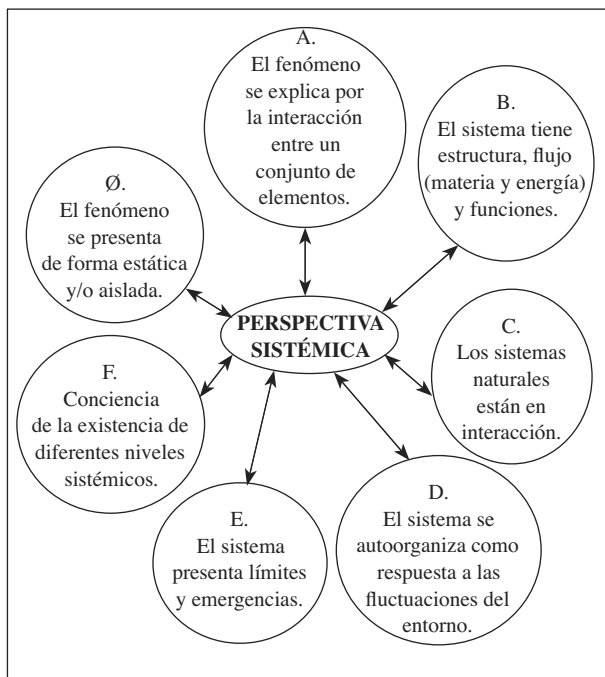


Figura 5

Categorías en que se estructura el ámbito estudios sobre irreversibilidad.

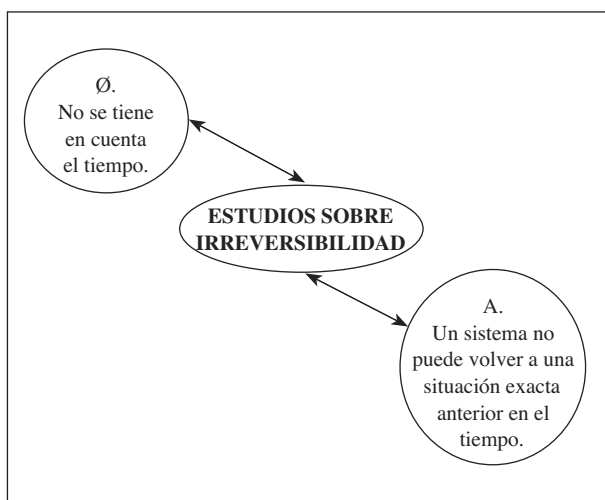


Figura 4

Categorías en que se estructura el ámbito estudios sobre causalidad.

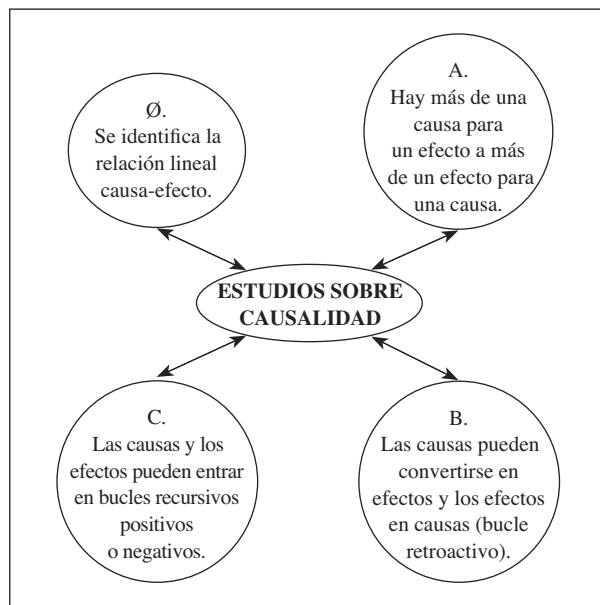
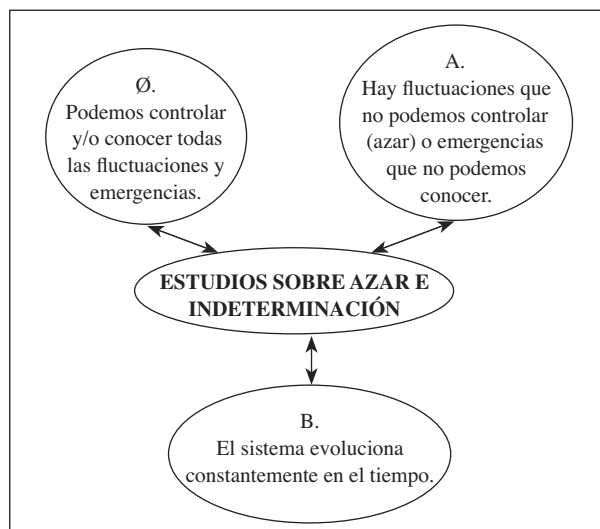


Figura 6

Categorías en que se estructura el ámbito estudios sobre azar e indeterminación.



Los *indicadores* permiten concretar un tercer nivel de análisis. Se definen como la información más relevante y oportuna en referencia a las categorías propuestas y permiten una aproximación operativa entre las muestras seleccionadas y el referente teórico que orienta la investigación evaluativa, desde una perspectiva más específica. La relación entre los indicadores, a diferencia de ámbitos y categorías, es jerárquica de carácter excluyente ya que se estructuran en

forma de *continuum* en que la complejidad que refleja un indicador supera la que presenta el indicador anterior. Su aplicación en el análisis posibilita señalar los elementos significativos de la muestra y realizar una primera recogida de información que, en fases sucesivas de reelaboración, llevará a definir el valor del objeto de evaluación. En la figura 7 se muestran los indicadores agrupados dentro de cada categoría y para cada uno de los ámbitos utilizados.

Figura 7
Indicadores que se definen en cada una de las categorías.

ÁMBITO: ESTUDIOS SOBRE LA PERSPECTIVA SISTÉMICA	
CATEGORÍAS	INDICADORES
Ø. El fenómeno se presenta de forma estática y/o aislada.	
A. El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. El fenómeno/sistema se presenta como un conjunto de elementos (identificación). 2. El fenómeno/sistema se presenta como un conjunto de elementos que interactúan conjuntamente. <ol style="list-style-type: none"> 2.1. La relación: Sí se explicita. No se explicita. 3. Se definen las redes de relaciones entre los elementos del sistema.
B. El sistema tiene estructura, flujo (de materia y energía) y funciones.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se describen los elementos que forman el sistema y su organización (estructura). 2. Se define la función de los elementos del sistema. 3. Se definen o describen los flujos (de materia y de energía) que constituyen el sistema. 4. Se relacionan: Estructura-flujo/Estructura-función/ Flujo-función, Estructura-flujo-función. 5. La relación puede ser: Estática Dinámica
C. Los sistemas naturales están en interacción con el medio.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se presenta el sistema en interacción con el entorno. 2. Se explicitan las relaciones con el entorno. 3. Se definen las relaciones considerando: Materia Energía 4. Se construyen modelos explicativos de las relaciones del sistema y el entorno teniendo en cuenta los flujos de entrada y de salida. 5. Se relaciona el flujo con el desorden del sistema. 6. Se relaciona el flujo con el desorden del sistema y la autoorganización.
D. El sistema se autoorganiza como respuesta a las fluctuaciones del entorno.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se da una visión dinámica del sistema. 2. Se hace referencia a fluctuaciones. 3. Se contemplan algunas perturbaciones que desordenan el sistema. <ol style="list-style-type: none"> 3.1. A nivel de: <ul style="list-style-type: none"> Sistema: estructura/función/flujo. Medio: estructura/función/flujo. Relación sistema-medio: estructura/función/flujo. 4. Se hace referencia a los procesos de autoorganización del sistema. 5. Se describen los procesos de autorregulación dentro del sistema. 6. Se construyen modelos explicativos de los procesos de autorregulación dentro del sistema. <ol style="list-style-type: none"> 6.1. La autoorganización se relaciona con las fluctuaciones. 6.2. La autoorganización tiene un componente de azar. 7. Se contempla la posibilidad de emergencia de un nuevo sistema a partir del desorden y la autoorganización.
E. El sistema presenta límites y emergencias.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se hace referencia a: Emergencia. Límite del sistema. 2. En la referencia: No hay relación entre ellos. Sí hay relación entre ellos. 3. Se establece una relación múltiple entre emergencias y límites.
F. Conciencia de la existencia de diferentes niveles sistémicos que se pueden estudiar de forma simultánea.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se sitúan los fenómenos en diferentes niveles sistémicos. 2. Se establecen relaciones entre los diferentes niveles sistémicos. 3. Se presentan las relaciones entre fenómenos que ocurren a diferentes niveles sistémicos. 4. Los fenómenos se sitúan en una escala sistémica y se explican en otros niveles sistémicos. 5. Se estudia cada nivel sistémico siguiendo los esquemas que definen los sistemas complejos adaptativos.

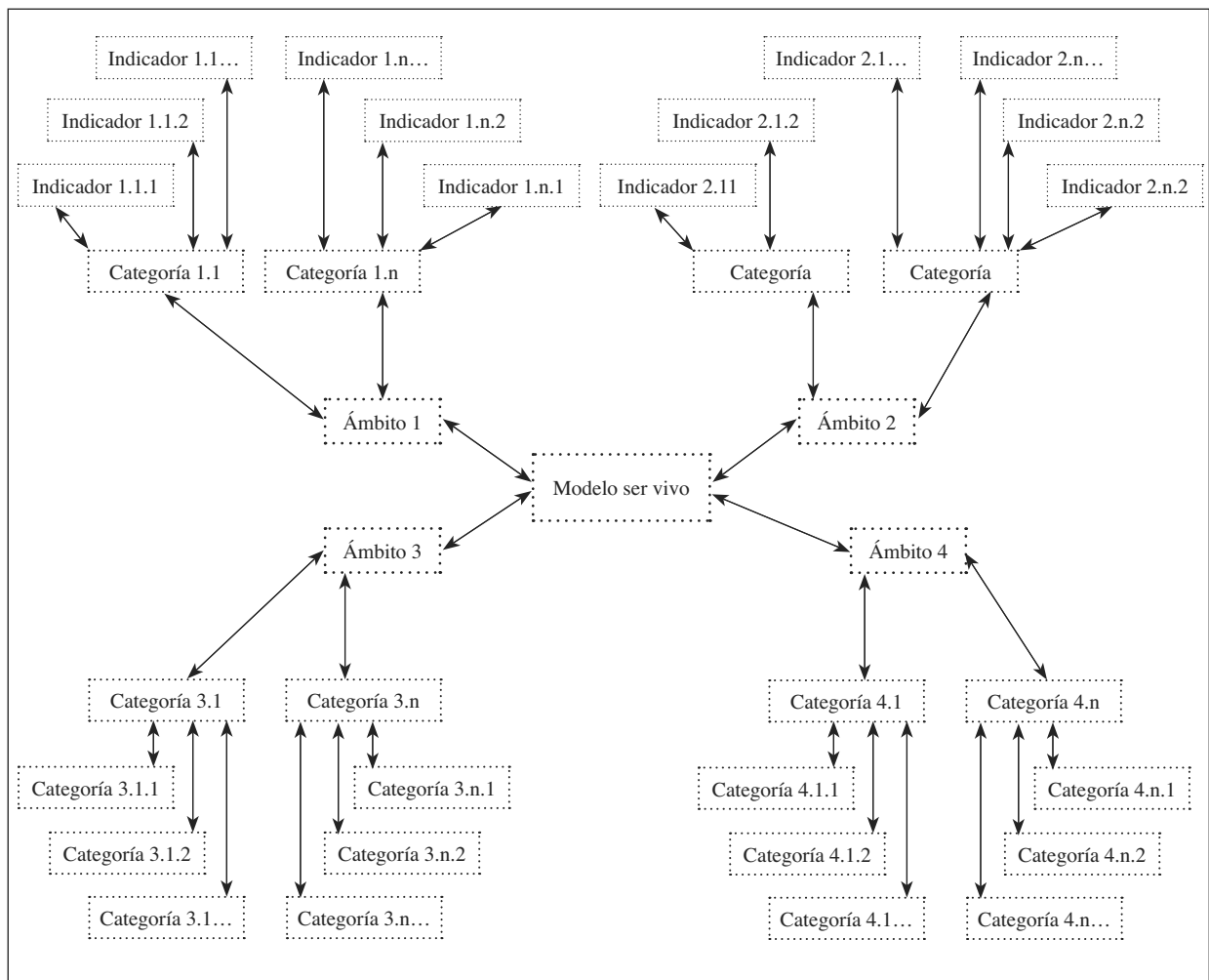
ÁMBITO: ESTUDIOS SOBRE CAUSALIDAD	
CATEGORÍAS	INDICADORES
∅. Se identifica la relación lineal causa-efecto.	
A. Hay más de una causa para un efecto o más de un efecto para una causa.	<ol style="list-style-type: none"> 1. El fenómeno es presentado a partir de un número limitado y determinado de causas que lo originan o efectos desencadenantes. 2. El fenómeno es presentado a partir de un número limitado e indeterminado de causas que lo originan o efectos desencadenantes. 3. El fenómeno es presentado partiendo de un número indeterminado e incierto de causas que lo originan o efectos desencadenantes. 4. El fenómeno es presentado a partir de un número limitado y determinado de causas que lo originan y efectos desencadenantes. 5. El fenómeno es presentado a partir de un número limitado e indeterminado de causas que lo originan y efectos desencadenantes. 6. El fenómeno es presentado partiendo de un número indeterminado e incierto de causas que lo originan y efectos desencadenantes.
B. Las causas pueden convertirse en efectos y los efectos en causas (bucle retroactivo).	<ol style="list-style-type: none"> 1. El efecto de un fenómeno es también presentado como causa de otro fenómeno. 2. El efecto de un fenómeno también es presentado como una causa del mismo fenómeno.
C. Las causas y los efectos pueden entrar en bucles recursivos positivos o negativos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se identifica una relación causa-efecto. 2. La causa de un fenómeno puede desencadenar múltiples efectos encadenados. <ol style="list-style-type: none"> 2.1. En efecto lineal desde una causa. 2.2. En efecto ramificador desde una o varias causas (red). 3. Se contempla un bucle recursivo. <ol style="list-style-type: none"> 3.1. La secuencia continua C-E-C-E... contempla la magnificación (aumenta) del fenómeno a lo largo del espacio y el tiempo (bucle positivo). 3.2. La secuencia continua C-E-C-E... contempla la desaparición del fenómeno a lo largo del espacio y el tiempo (bucle negativo). 4. La secuencia continua C-E-C-E... contempla la dialógica entre el bucle positivo y negativo.
ÁMBITO: ESTUDIOS SOBRE IRREVERSIBILIDAD	
CATEGORÍAS	INDICADORES
∅. No se tiene en cuenta el tiempo.	
A. Un sistema no puede volver a una situación exacta anterior en el tiempo.	<ol style="list-style-type: none"> 1. El fenómeno se presenta teniendo en cuenta el tiempo como variable intrínseca. 2. El fenómeno se presenta incluyendo el tiempo como valor de irreversibilidad. <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Cambios en el tiempo acotados a la percepción humana: <ul style="list-style-type: none"> Observables directamente. Observables indirectamente. 2.2. Cambios en el tiempo no acotados a la percepción humana: <ul style="list-style-type: none"> Observables indirectamente.
ÁMBITO: ESTUDIOS SOBRE AZAR E INDETERMINACIÓN	
CATEGORÍAS	INDICADORES
∅. Podemos controlar y/o conocer todas las fluctuaciones y emergencias.	
A. Hay fluctuaciones que no podemos controlar (azar) o emergencias que no podemos conocer (indeterminación).	<ol style="list-style-type: none"> 1. El fenómeno se presenta teniendo en cuenta que hay un número determinado de fluctuaciones que no podemos controlar con exactitud o emergencias que no podemos conocer. 2. El fenómeno se presenta teniendo en cuenta que hay un número indeterminado de fluctuaciones que no podemos controlar con exactitud o emergencias que no podemos conocer. 3. El fenómeno se presenta teniendo en cuenta que hay un número indeterminado de fluctuaciones y relaciones entre ellas que no podemos controlar con exactitud o emergencias y relaciones entre ellas que no podemos conocer.
B. El sistema evoluciona constantemente en el tiempo.	<ol style="list-style-type: none"> 1. El fenómeno se presenta contemplando que no se puede predecir con exactitud que lo hará evolucionar y hacia donde.

El análisis conjunto de las unidades de análisis permite obtener datos pertinentes para poder definir la presencia de las características de los modelos conceptuales complejos dentro de las muestras de análisis. La relación que toman las diferentes unidades de análisis se concreta en la figura 8. Se establece una estructura radial que se va abriendo a medida que la unidad de análisis se hace más específica y operativa, de forma que, paralelamente, cuando se fija la aten-

ción en el centro del esquema se obtiene un enfoque más holístico.

Una vez diseñado el instrumento de evaluación, tanto desde una perspectiva conceptual como metodológica, el siguiente paso consiste en la aproximación a las muestras de análisis para recoger información relevante para la investigación evaluativa y obtener conclusiones que permitan hacer frente a los objetivos de la investigación.

Figura 8
Relación entre las unidades de análisis definidas.



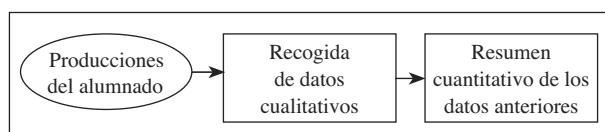
3.3. Fase de procesamiento de la información

La fase de procesamiento de la información se desarrolla en tres subfases combinando técnicas cualitativas y cuantitativas. La primera, de recogida de datos, sirve para seleccionar la información relevante en las producciones iniciales y finales del alumnado. La segunda, de tratamiento de la información, permite transformar los datos de la primera fase con la finalidad de extraer un significado relevante para el programa evaluado y las finalidades de la investigación (Gil, 1994). Finalmente la tercera, de extracción de conclusiones, posibilita una interpretación final de los datos con el objetivo de elaborar juicios de valor y presentar orientaciones para el cambio.

3.3.1. Recogida de datos

La figura 9 muestra el proceso seguido para recoger la información relevante respecto a los contenidos del programa que se presentan en las producciones del alumnado. En ella se señala con una silueta ovalada los elementos que son objeto de análisis y con una silueta encuadrada las operaciones realizadas.

Figura 9
Fase de recogida de datos.



La primera operación, de tipo cualitativo, consiste en la aplicación de una matriz de doble entrada (Fig. 10), en la que se recoge la información relevante de cada muestra en relación con los indicadores de evaluación. La matriz se diseña de manera que las filas hacen referencia a la diversidad de indicadores a analizar y las columnas, al número de la diapositiva que se analiza. Si la información es relevante se hace una anotación cualitativa, para adjuntar seguidamente un texto que describe la información destacada.

La segunda operación, de tipo cuantitativo, consiste en la elaboración de una tabla que recoge toda la información del primer paso (Fig. 11). Esta tabla permite tener una visión de conjunto de los indicadores relevantes en cada una de las muestras analizadas, tanto en su conjunto como en cada una de las diapositivas analizadas. Las filas señalan el número de diapositiva analizada y las columnas, la referencia al indicador.

En esta primera fase, el objetivo fundamental es la selección de la información que es significativa. La recogida cualitativa permite tener una descripción de la información y una justificación de su relevancia en relación con el modelo conceptual. Agrupar la información de forma

cuantitativa permite tener datos de frecuencia de aparición de indicadores dando un primer perfil general de la presencia de indicadores dentro de cada muestra.

Figura 10

	1	2
Ø. El fenómeno se presenta de forma estática y/o aislada.		
A. El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos.		1. Se identifica la masa del pato.
B. El sistema tiene estructura, flujo (de materia y energía) y funciones.		
C. Los sistemas naturales están en interacción con el medio.		
D. El sistema se autoorganiza como respuesta a las fluctuaciones del entorno.		
E. El sistema tiene límites y emergencias.		
F. Conciencia de la existencia de diferentes niveles sistémicos que se pueden estudiar de forma simultánea.		

Figura 11
Matriz cuantitativa de recogida de información.

	PERSPECTIVA SISTÉMICA											
	0	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	
1												
2		X										
3		X							X			
4												
5												
6												
7												
8									X			
9												
10												
11												
12												

3.3.2. Tratamiento de la información

Los pasos seguidos para tratar los datos obtenidos en la primera fase del análisis de la información se muestran en el esquema de la figura 12.

Para tratar la información, en primer lugar, se realiza un proceso de reducción de datos de la información recogida en el análisis de cada muestra. En este proceso, la información recogida se reagrupa en un proceso de síntesis que tiene como objetivo fundamental elaborar un perfil de cada muestra sin perder información relevante.

Para realizar el proceso, en primer lugar, se agrupa por indicadores la información extraída del análisis de cada diapositiva, obteniendo, de esta manera, la relevancia de cada indicador en el total de la muestra. Seguidamente, analizando la presencia de los indicadores de cada una de las categorías, se obtiene un perfil de la presencia de cada una de éstas en las diferentes muestras de análisis. Por último, en el proceso final de reducción de la información, el tratamiento de los datos referentes a las categorías pertenecientes a un mismo ámbito permite elaborar el perfil de presencia del ámbito en la muestra analizada.

Una vez elaborado un perfil de cada una de las muestras, se procede a realizar un análisis comparativo entre los trabajos iniciales y finales de cada muestra. Dicho análisis se realiza a la escala de categorías y ámbitos. La comparación por categorías permite la obtención de información específica, con lo que se llega a conocer con detalle tanto aquellos aspectos en los que el programa ha favorecido el cambio como los que no varían o los que presentan dificultades. Comparar el resultado del análisis por ámbitos entre los dos trabajos permite obtener un perfil global del cambio, lo que da una visión holística del resultado de la aplicación del programa.

Identificadas las categorías y ámbitos en que el programa favorece el cambio y aquellos en que se presentan dificultades, se llega a la fase de extracción de conclusiones.

3.3.3. Extracción de conclusiones

En la figura 13 se muestra el proceso seguido para la extracción de conclusiones relativas a las representaciones que hace el alumnado de su modelo mental.

Para extraer las conclusiones, el primer tratamiento de la información se realiza en referencia a las categorías, para después realizar el mismo proceso tomando como referencia los ámbitos. Esta nueva síntesis permite llegar a definir un perfil global de la evolución de la representación del modelo mental de los futuros maestros en referencia a los ámbitos en que se organiza la investigación.

Este análisis se realiza comparando los resultados obtenidos del análisis de cada una de las producciones que constituyen las muestras de la investigación, configurándose, así, como un análisis intramuestras. Se realiza una comparación entre los cambios según categorías y ámbitos entre los trabajos iniciales y finales, y se señalan aquellos aspectos que se consideran significativos.

Este proceso permite obtener información tanto específica como desde la perspectiva holística. El nivel específico se obtiene por el análisis de las categorías que permiten tener información válida y fiable de la forma en que han evolucionado los aspectos significativos de cada categoría. El análisis por ámbitos permite obtener una visión de conjunto sobre la evolución del modelo respecto a los campos de conocimiento en que se fundamenta el modelo conceptual complejo de *ser vivo*. La comparación entre los resultados de los dos niveles de análisis de la totalidad de las muestras permite tener un perfil global del resultado del trabajo didáctico. Como consecuencia de dicho perfil se detecta la necesidad de potenciar la presencia de algunas categorías concretas para estimular la evolución de la representación del modelo conceptual estudiado.

Figura 12
Tratamiento de la información.

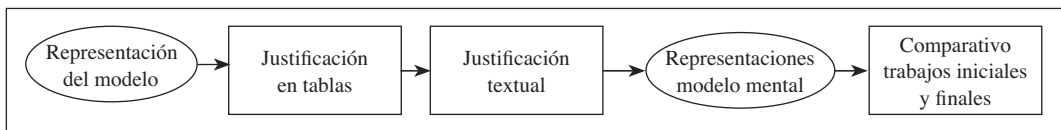
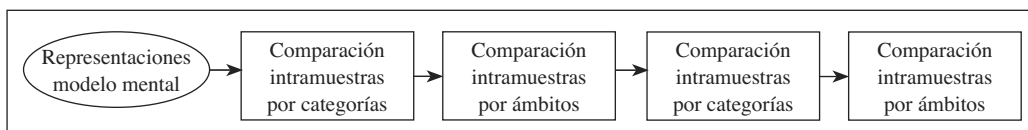


Figura 13
Extracción de conclusiones.



4. CONCLUSIONES

Tal como se señala en la primera parte del texto, las conclusiones que se presentan a continuación son de carácter metodológico y proponen algunas orientaciones de mejora de la investigación evaluativa descrita. Se centran en la evaluación del instrumento presentado y en la del proceso de investigación realizado. Es la meta-evaluación (Borrell y Chavarría, 1998) que se estructura en un conjunto de reflexiones en torno a la objetividad del instrumento utilizado, su pertinencia, validez y fiabilidad.

Respecto a la objetividad, se observa la necesidad de redefinir algunas categorías con la finalidad de evitar la confusión que presentan algunos redactados similares que no permiten una clara diferenciación conceptual. En concreto, este aspecto aparece en referencia a la categoría A del ámbito Perspectiva Sistémica (El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos) que puede llevar a cierta confusión con la categoría B [El sistema tiene estructura, flujo (de materia y energía) y funciones]. Otro elemento significativo es la necesidad de revisar el planteamiento de las categorías que toman el símbolo \emptyset que, aun mostrándose útiles, dificultan su utilización homogénea en el uso del instrumento de evaluación. Finalmente se observa la necesidad de enriquecer el ámbito Irreversibilidad que, con sólo dos categorías de análisis, se muestra como el más débil del instrumento.

En relación con la pertinencia, concluimos que el instrumento posibilita la asignación del valor al programa. En su diseño, refleja una clara vinculación entre los referentes conceptuales del modelo *ser vivo* y las unidades de análisis establecidas. En su aplicación, facilita una óptima aproximación al objeto de evaluación. Los datos obtenidos permiten identificar de forma clara los cambios que se pueden realizar en el programa. Dichos cambios pueden favorecer la evolución de las representaciones de

los modelos mentales del alumnado y el modelo conceptual complejo de ser vivo.

En referencia a la validez, la conclusión más significativa se centra en la necesidad de homogeneizar las muestras dando un mayor número de orientaciones al alumnado en la elaboración de sus producciones. Si bien, este hecho no invalida los resultados de la investigación y plantea riqueza a nivel cualitativo, dificulta un análisis de carácter más cuantitativo y, en ciertos momentos, un grado más alto de generalización de los resultados. Con la finalidad de aumentar la validez de posteriores procesos evaluativos nos parece interesante dar mayor número de pautas al alumnado en relación con el formato de sus producciones.

Por último, respecto a la fiabilidad, el modelo de evaluación propuesto se muestra exhaustivo y capaz de ofrecer información relevante. Aún así, se hace necesario buscar instrumentos y metodologías de evaluación más simples. De esta forma, se posibilitaría el acceso a los procesos de evaluación a profesorado con diversidad de niveles de conocimiento experto, tanto en relación con el paradigma de la complejidad como en referencia a la investigación evaluativa.

Para finalizar, nos parece que en un momento en que, en general, la evaluación ha adquirido un carácter tecnológico muy cercano a los paradigmas de la calidad y al servicio de determinadas opciones políticas (Santos Guerra, 1993) es fundamental reivindicar su relevancia dentro de la didáctica de las ciencias. La investigación evaluativa puede constituir una oportunidad de mejora de los procesos de enseñanza-aprendizaje y, desde esta perspectiva, constituirse como una plataforma para estimular la innovación desde el necesario diálogo entre el rigor y la espontaneidad. Para ello se hace necesaria una doble reflexión a nivel conceptual, en relación con el modelo conceptual, y a nivel metodológico, en relación con la evaluación entendida como modalidad de investigación. Ambas reflexiones van de la mano como forma de orientar la innovación sin perder de vista el rigor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTOLOMÉ, M. (1997). Metodologies qualitatives orientades cap al canvi i la presa de decisions, en MATEO, A. y VIDAL, M.C. (1997). *Enfocaments, mètodes i àmbits de la investigació psicopedagògica*. Barcelona: UOC.
- BONIL, J., SANMARTÍ, N., TOMÁS, C. y PUJOL, R.M. (2004a). 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., CALAFELL, G., ORELLANA L., ESPINET, M. y PUJOL, R.M. (2004b). El diálogo disciplinar, un camino necesario para avanzar hacia la complejidad. *Investigación en la escuela*, 53, pp. 83-97.
- BONIL, J., GUILERA, M., TARÍN, R.M., FONOLLEDA, M. y PUJOL, R.M. (2004c). Evaluar el grado de incorporación de la complejidad en las producciones del alumnado: propuesta de indicadores. *Investigación en la escuela*, 53, pp. 99-107.
- 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 Dendaluze, I. (coord.). *Aspectos metodológicos de la investigación educativa*. Madrid: Narcea, pp. 60-77.
- ECHEVARRIA, J. (1998). *Filosofía de la ciencia*. Barcelona: Akal.
- GARCIA, A.R. y LÓPEZ, A.M. (2004). Complejidad, no linealidad y Didáctica de las Ciencias. *Investigación en la Escuela*, 53, pp. 53-69.
- GARCIA, J.E. (1998). *Hacia una teoría alternativa de los contenidos escolares*. Sevilla: Díada.
- GARCIA, 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.
- GIL, J. (1994). *Análisis de datos cualitativos. Aplicaciones a la investigación educativa*. Barcelona: Promociones Publicaciones Universitarias (PPU).
- GIERE, R.N. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las ciencias*, núm. extra junio 1999, pp. 63-70.
- GUTIÉRREZ, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza aprendizaje. *Alambique*, 42, pp. 8-18.
- HARLEN, W. (1998). *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Morata.
- 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 junio 1999, 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.
- JUNYENT, M., GELI, A.M. y ARBAT, E. (2003). Características de la ambientalización curricular: Modelo ACES, en Junyent, M., Geli, A.M. y Arbat, E. (coord.). *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.
- MATEO, A. y VIDAL, M.C. (1997). *Enfocaments, mètodes i àmbits de la investigació psicopedagògica*. Barcelona: UOC.
- PÉREZ JUSTES, R. (1994). Investigación evaluativa, en García, V. (coord.). *Problemas y métodos de investigación en la educación personalizada*. Madrid: Rialp, pp. 404-418.
- 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 edició Newbury Prak, Londres y Nova Delhi: Sage.
- SAEZ BRÉMES, M.J. (1995). *Conceptualizando la evaluación en España*. Alcalá de Henares: Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares, Colección Pautas.
- SANMARTÍ, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis.
- SANTOS GUERRA, M.A. (1993). Los (abusos de la evaluación. *Cuadernos de Pedagogía*, 202, pp. 70-73.
- SHULMAN, L. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Research*, 51(4), pp. 445-498.
- TERRADAS, J. (2006). *Biografía del mundo, del origen de la vida al colapso ecológico*. Barcelona: Destino.
- TIANA, A. (1997). *Avaluació de programes, centres i professors*. Barcelona: UOC.
- THOMSON, W.I. (coord.) (1989). *Gaia, Implicaciones de la nueva biología*. Barcelona: Cairós.
- VARELA, F. (1989). Haciendo Camino al andar, en Thomson, W.I. (coord.). *Gaia, Implicaciones de la nueva biología*. Barcelona: Kairós. pp. 47-62.
- WAGENSBERG, J. (2005). *La rebelión de las formas*, Barcelona: Taurus

The paradigm of complexity, a frame of reference for the design of an instrument of evaluation of programs in the initial training of teaching staff

BONIL, JOSEP y PUJOL, ROSA MARIA

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona
josep.bonil@uab.cat
rosamaria.pujol@uab.cat

Abstract

In this article the problem of how to create a way to evaluate programmes that guide the direction of innovation is tackled. The initial training of teachers specialised in Primary Education has been taken as a reference point. In the design of the programme the evolution that scientific knowledge has made over the twentieth century towards the emergence of complexity and its reflection in the training of the teachers has been taken as a conceptual reference.

As a starting point, the article takes the proposal of the conceptual model «human being» which makes contemporary science once the principles of complexity have been met. This proposal is centred on an organisation scale given its great significance at the Primary Educational stage. Next, the conceptualisation and characterisation of the evaluative research as a discipline of the investigation that attempts to place a value on an object and guide the change is carried out. Finally, the evaluative research model designed is presented.

The proposed evaluation instrument is made up of analysis units which are built in a continuum, leading from a general perspective to the specific, and which are organised into areas, categories and indicators resulting in three levels of analysis.

The areas are significant aspects of the contents of the evaluation programme that correspond to the key aspects that characterise the complex conceptual models. Its application during the analysis of the programme allows the obtained information to be grouped for the analysis of the samples into four large significant blocks for the construction of the complex conceptual model of the human being. The relationship established between the areas is neither hierarchal nor exclusive, but rather is a complementary aspect that makes the allocation of more than one area to the same sample possible. The four defined areas are: *studies on systemic perspective*, *studies on causality*, *the presence of chance and indecision* and *studies on irreversibility*.

The categories determine the second level of analysis. They are made up of the most significant and relevant elements within each area, and allow for a deeper look into the theoretical principles defined in each of them. The relationship between the categories in which each area is established is complementary and not hierarchal in nature. The application of the categories during the analysis makes it possible to organise the information from each area, and lends support to the argument of the judgements given.

The indicators allow a third level of analysis to be fixed. They are defined as the most relevant and opportune information in terms of the proposed categories. They allow an operative approximation between the selected samples and the reference that guides the evaluative research from a more specific perspective. The relationship between the indicators, unlike the correlation between areas and categories, is of a hierarchal and exclusive nature. It is set up in a continuum whereby the complexity that is reflected by an indicator is higher than that presented by the previous indicator. Its application in the analysis makes it possible to highlight the significant elements of the sample, and undertakes a first collection of information, which, in successive phases of redevelopment, will result in defining the value of the object of the evaluation.

The context of the investigation is the Teaching of Experimental Sciences course in the initial training of the teaching staff, which takes place in the third year of the MA in Primary Education in the Faculty of Education Sciences at the *Universidad Autónoma de Barcelona*.

The objectives of the investigation are:

- To design and implement an evaluative research process which would enable a value to be placed on the programme of the subject of the teaching of experimental sciences in initial training of the teachers and bring about a possible change.

- To design an evaluative instrument that would allow for an evaluation of the presence of the complex conceptual model of the human being in teaching projects.

To develop the research, the projects worked on by the students for their end of course assignments are taken as an analysis sample. The differences between the initial and final projects are analysed. The initial ones are developed before introducing them into the programme of the principles of complexity, and the final ones after introducing the aforementioned principles.

The results of the research are obtained from a treatment process of the information, which is set out in three phases. The first phase –the collection of data– is used to select the relevant information in the initial and final projects of the students. The second –the treatment of the information– allows for the transformation of the data of the first phase, with the aim of extracting relevant significance for the evaluation programme and the aims of the investigation. Finally the third –the drawing of conclusions– makes possible a final interpretation of the

data with the objective of making value judgements and presenting guidance for the change.

Finally, some methodological conclusions, which try to guide the improvement of both the evaluative research and the proposed instrument, are included. The conclusions refer to the objectivity, the appropriateness, the validity and the reliability of the proposed instrument.

With regard to objectivity, a redefinition of some of the categories of analysis is proposed. As for the appropriateness, the instrument makes it possible to place importance on the programme. Regarding validity, a proposal is made about the type of samples necessary to carry out an evaluation procedure such

as the one presented. Lastly –with regard to reliability –it is evaluated how the instrument is exhaustive and allows relevant information to be obtained even though, on the other hand, people who use it have to be experts in complexity. Therefore, the challenge to generate accessible instruments to a large variety of professionals is established.

The article attempts to change the evaluative research itself in order to improve it and make it accessible to a variety of audiences. Therefore, the text has a noticeable methodological character. Both the presentation of the instrument and the conclusions attempt to a methodological contribution to the research into the field of teaching sciences.

