

Durante los cursos académicos 2002-2003 y 2003-2004, desde el Departamento de Didáctica de la Matemática y las Ciencias Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona, se han diseñado y aplicado diversas propuestas de currículum de formación inicial de profesorado tomando como referencia el paradigma de la complejidad. En el artículo se presentan el conjunto de indicadores de evaluación que se han utilizado con el objetivo de medir el grado de complejidad reflejado en las producciones de los estudiantes y el marco metodológico para su utilización. El objetivo final de la propuesta es orientar la toma de decisiones hacia la mejora del programa como elemento favorecedor de la integración de algunos elementos del paradigma de la complejidad por parte del alumnado.

Evaluar el grado de incorporación de la complejidad en las producciones del alumnado: propuesta de indicadores*

pp. 99-107

J. Bonil; M. Guilera; R. M. Tarín;
M. Fonolleda y R. M. Pujol

Universidad Autónoma de Barcelona

Durante los cursos académicos 2002-2003 y 2003-2004, desde el Departamento de Didáctica de la Matemática y las Ciencias Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona, se han realizado diversas propuestas prácticas de formación del profesorado tomando como referencia el paradigma de la complejidad. Bajo dicho marco, se ha establecido la estructura de los contenidos, la organización de la dinámica del aula y se ha orientado el trabajo de los estudiantes. Desde el primer momento, junto a ello, surgió la necesidad de encontrar formas para evaluar los resultados del proceso iniciado.

La dinámica de formación se planteó desde un marco general de investigación acción con participación de los estudiantes y el profesorado. Sin embargo, también se consideró el inte-

rés de desarrollar una investigación evaluativa junto con un proceso de investigación etnográfica. Con ello se podría obtener un mejor conocimiento del nivel de alcance de los objetivos a los que llegaba el alumnado y destacar los elementos significativos, tanto favorecedores como obstaculizadores, del nuevo proceso de enseñanza y aprendizaje planteado. La información obtenida en su conjunto permitiría reorientar el cambio en próximas experiencias.

En este artículo tan sólo se expone una parte del proceso de investigación evaluativa realizada en el contexto de una asignatura de Didáctica de las Ciencias en un curso de formación inicial de maestros de la especialidad de Educación Primaria. En concreto, se presentan el conjunto de indicadores que se utilizaron con el objetivo de medir el grado de

* Este artículo ha sido elaborado en el marco del grupo Complex del Departamento de Didáctica de la Matemática y las Ciencias Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona. Dicho grupo está financiado por el MCYT-BSQ2001-2488-CO2-01. El grupo está constituido por Bonil, J.; Calafell, G.; Fonolleda, M.; Gómez, A.; Guilera, M. y Izquierdo, M.; Márquez, C.; Espinet, M.; Roca, M.; Sanmartí, N.; Sarda, A.; Tarín, R. M.; Tomás, C y Pujol, R. M. (coord.).

complejidad reflejado en los trabajos de los estudiantes. Tan sólo se exponen aquellos indicadores relacionados con la incorporación de aspectos conceptuales de la complejidad.

Objetivos y desarrollo de la investigación evaluativa planteada

La investigación evaluativa constituye una de las múltiples modalidades de investigación que ofrece el marco, las herramientas y los procesos que permiten orientar el cambio que se persigue en un determinado proceso. Tomando como referencia la definición del Joint Comitee on Standards for Educational Evaluation de 1981 la investigación evaluativa es *“un juicio sistemático de la valía o el mérito de un objeto”*. Los objetivos de la investigación evaluativa (Arnal, 1997), se centran en *“comprender y mejorar aquello que se evalúa y sintetizar, descubrir o juzgar los resultados planteados de un determinado programa y tomar decisiones sobre su continuidad”*.

En el curso de Didáctica de las Ciencias en el que se planteó la investigación evaluativa se perseguían tres objetivos fundamentales. En primer lugar, que los estudiantes fueran capaces de construir modelos explicativos complejos desde la ciencia. En segundo lugar, que vivenciasen la aplicación de dichos modelos en la propia dinámica del curso de didáctica para potenciar su mayor comprensión e interiorización. Finalmente, se buscaba que los estudiantes fueran capaces de diseñar actividades científicas dirigidas a escolares de primaria que incorporasen la complejidad.

Durante el curso se dedicó una parte significativa del tiempo a trabajar, desde la perspectiva de la complejidad, el modelo de ser vivo y su introducción en las aulas escolares. En una primera fase, los estudiantes, en grupo de cuatro o cinco, debían mantener un animal con vida; éste debía ser susceptible de tener presencia y ser trabajado en las aulas escolares de primaria. Durante tres meses cada grupo de estudiantes registraba los acontecimientos que iban sucediendo en relación a su animal, planteaban las cuestiones que consideraban significativas para

su estudio y diseñaban una primera unidad didáctica que las incorporara. A lo largo del resto del curso académico, cada grupo la reconstruía integrando e incorporando los contenidos que se iban trabajando colectivamente en clase. Por último, al finalizar el curso, los estudiantes debían presentar su trabajo final en soporte Power Point. Los trabajos debían integrar de forma significativa contenidos de la asignatura y elementos audiovisuales considerados claves, debían desarrollar la capacidad creativa para diseñarlos de forma imaginativa y seguir el conjunto de orientaciones didácticas trabajadas (concepción de ciencia actual, modelos de ser vivo complejo, significado de la actividad científica escolar, la evaluación como autoregulación, ...). Dichas producciones, un total de 14, constituyeron la muestra sobre la que se realizó la investigación evaluativa que se expone.

Definición de los indicadores de evaluación

En una investigación evaluativa es necesario definir un conjunto de indicadores que permitan recoger información significativa y oportuna en relación al objeto de evaluación definido. Los indicadores deben ser relevantes, aportar información fiable y válida, ser viables a nivel práctico y útiles para la audiencia de la evaluación (Borrell y Chavarria, 1998). Definir los indicadores, para desarrollar la investigación evaluativa planteada, conllevó una reflexión de tipo teórico y otra de tipo metodológico.

Algunos elementos en relación a la reflexión teórica

El punto de partida para reflexionar teóricamente sobre la definición de los indicadores de evaluación se fundamentó en los principios teóricos de la complejidad presentes en la ciencia contemporánea. Desde ella, el concepto de sistema complejo adaptativo (Gell-Mann, 1995), surge como un espacio de diálogo entre aportaciones de distintos campos del conocimiento, de las que destacan la teoría de sistemas, la cibernética, la termodinámica y la teoría cuántica.

El concepto de Sistema Complejo Adaptativo posibilita entender los fenómenos del mundo como sistemas abiertos en continuo proceso de autoorganización; unos sistemas formados por conjuntos de elementos que interaccionan entre ellos a partir de fluctuaciones que llegan del medio externo y que conllevan una dinámica en la que se manifiestan límites y emergencias. Acoge también que en la dinámica de dichos fenómenos confluyen de forma simultánea multitud de causas y efectos; causas y efectos se relacionan en forma de bucles retroactivos y recursivos en una red de la que se desconocen la totalidad de las relaciones. Se entiende que los fenómenos tienen una dinámica constante que se orienta en el sentido de una flecha temporal. Incorpora el azar y la indeterminación como elementos fundamentales en la explicación de los fenómenos; el azar pone de relevancia la influencia de fluctuaciones no previsibles en su dinámica y la indeterminación la imposibilidad de definir la totalidad de las emergencias que pueden producirse en un sistema complejo.

El conjunto de las ideas anteriores fueron el punto de partida para iniciar una reflexión entorno a las características de los indicadores que se quería definir. A partir de ellas se definieron cuatro grandes categorías de indicadores: los relativos a la teoría de sistemas, los referentes a la incorporación de la multicausalidad y el multiefecto, los concernientes a las asociación con la irreversibilidad, y, finalmente, los relacionados con el azar y la indeterminación.

Para cada una de las cuatro categorías anteriores fue necesario definir unos indicadores. En dicho proceso se vio la necesidad de determinar unos espacios intermedios, a los que se les denominó "principios" y que algunos autores (Borrell y Chavarría, 1998), definen como subobjetos de la evaluación o subdimensiones de la misma. Los principios constituyen referentes teóricos que dan relevancia a los indicadores, orientan su definición en términos de validez y fiabilidad, y los hacen asumibles desde la evaluación. Se denominaron principios dado que constituyen un conjunto de consecuentes derivados de modelizar los sistemas vivos como sistemas complejos adaptativos, y estable-

cen un puente significativo entre las teorías científicas y los propios indicadores.

Así pues, en la propuesta de indicadores que se realizó, para cada una de las cuatro categorías establecidas, se proponen distintos principios, y para cada uno de ellos se define un número determinado de indicadores. En todos los casos se especifica un principio vacío (\emptyset) que hace referencia a la ausencia de aspectos relacionados con el mismo en el objeto que se analiza.

Algunos elementos en relación a la reflexión metodológica

Abordar la definición de los indicadores desde una perspectiva válida y fiable comportaba dos cuestiones metodológicas relevantes. Por un lado, pensar cómo se realizaba la ordenación de los indicadores en forma de continuum. Por otro, establecer un diálogo entre la perspectiva cuantitativa y cualitativa en el registro y análisis de la información asociada a dichos indicadores.

La estructura de continuum se fundamentó en el necesario diálogo entre lo simple y lo complejo. Las representaciones de los fenómenos del mundo son siempre una simplificación de la realidad, del mismo modo es imposible establecer un modelo que exprese en toda su complejidad lo que es un sistema. Desde esta perspectiva, los modelos sobre seres vivos mostrados por los estudiantes en sus producciones se mueven en el diálogo entre lo simple y lo complejo, siendo necesaria una definición de indicadores evaluativos coherente con ello. Por ello, en la propuesta de concreción de indicadores, se decidió presentarlos ordenándolos en un gradiente que evoluciona hacia la complejidad y describirlos como enunciados cerrados de carácter excluyente. De esta manera era posible ubicar los aspectos significativos de cada trabajo de los estudiantes en un espacio del gradiente y justificar la decisión que se tomaba.

En los cuadros 1, 2, 3 y 4, se muestran, para cada una de las cuatro categorías definidas, los principios tomados con sus indicadores correspondientes. Para un fácil manejo de los mismos a cada principio se le asigna un índice mientras que a los indicadores se les asigna un subíndice.

CATEGORÍA DE INDICADORES RELACIONADOS CON LA MULTICAUSALIDAD Y EL MULTIEFECTO	
Principios	Indicadores
∅ Se identifica una relación lineal causa-efecto.	
1. Hay más de una causa para un efecto o más de un efecto para una causa.	1.1. El fenómeno es presentado partiendo de un número limitado y determinado de causas que lo originan o efectos desencadenados. 1.2. El fenómeno es presentado partiendo de un número limitado e indeterminado de causas que lo originan o efectos desencadenados. 1.3. El fenómeno es presentado partiendo de un número incierto e indeterminado de causas que lo originan o efectos desencadenados. 1.4. El fenómeno es presentado partiendo de un número limitado y determinado de causas que lo originan y efectos desencadenados. 1.5. El fenómeno es presentado partiendo de un número limitado e indeterminado de causas que lo originan y efectos desencadenados. 1.6. El fenómeno es presentado partiendo de un número incierto e indeterminado de causas que lo originan y efectos desencadenados.
2. Las causas pueden convertir-se en efectos y los efectos en causas (bucle retroactivo).	2.1. Un efecto de un fenómeno es también presentado como una causa de otro fenómeno. 2.2. Un efecto de un fenómeno es también presentado como una causa del mismo fenómeno.
3. Las causas y los efectos pueden entrar en bucles recursivos positivos y negativos.	3.1. Una causa de un fenómeno puede desencadenar múltiples efectos encadenados: 3.1.1. En efecto lineal desde una causa. 3.1.2. En efecto ramificador desde una o varias causas (red). 3.2. Se contempla un bucle recursivo: 3.2.1. La secuencia continua de C-E-C-E... contempla la magnificación (aumento) del fenómeno a lo largo del espacio y el tiempo (bucle positivo). 3.2.2. La secuencia continua de C-E-C-E... contempla la desaparición del fenómeno a lo largo del espacio y el tiempo (bucle negativo). 3.3. La secuencia continua de C-E-C-E... contempla la dialógica entre el bucle positivo y negativo.

Cuadro 2.

CATEGORÍA DE INDICADORES RELACIONADOS CON LA IRREVERSIBILIDAD	
Principios	Indicadores
∅ No se considera el tiempo como una variable significativa.	
1. Un sistema no puede volver a una situación exacta anterior en el tiempo.	1.1. El fenómeno es presentado teniendo en cuenta el tiempo como variable intrínseca al fenómeno. 1.2. El fenómeno es presentado incluyendo el tiempo como un valor de irreversibilidad. 1.2.1. Los cambios en el tiempo acotado a la percepción humana: – observable directamente – observable indirectamente 1.2.2. Los cambios no acotados a la percepción humana: observable indirectamente.

Continúa en la pág. siguiente

Viene de la pág. anterior

CATEGORÍA DE INDICADORES RELACIONADOS CON LA IRREVERSIBILIDAD	
Principios	Indicadores
2. Se considera el dinamismo en la explicación de los hechos del mundo.	2.1. Aparece la idea de cambio (no hay la idea de sistema). 2.1.1. A nivel de: fenómeno medio relación fenómeno y medio 2.2. El cambio se explica como la relación de elementos como sistema. 2.2.1. A nivel de: fenómeno estructura/ función/ flujo medio: estructura/ función/ flujo relación fenómeno y medio: estructura/ función/ flujo 2.3. El cambio se construye como diálogo de antagónicos: 2.3.1. A nivel de: medio interno/ medio externo orden/ desorden estabilidad/ cambio 2.4. La transformación y el cambio de un sistema a otro (el sistema se transforma en uno de nuevo).

Cuadro 3.

CATEGORÍA DE INDICADORES RELACIONADOS CON EL AZAR Y LA INDETERMINACIÓN	
Principios	Indicadores
∅ Podemos controlar y/o conocer todas las fluctuaciones y emergencias.	
1. Existen fluctuaciones que no podemos controlar (azar) o emergencias que no podemos conocer (indeterminación).	1.1. El fenómeno es presentado teniendo en cuenta que hay un número determinado de fluctuaciones que no podemos controlar o emergencias que no podemos conocer. 1.2. El fenómeno es presentado teniendo en cuenta que hay un número indeterminado de fluctuaciones que no podemos controlar o emergencias que no podemos conocer. 1.3. El fenómeno es presentado teniendo en cuenta que hay un número indeterminado de fluctuaciones y de relaciones entre ellas que no podemos controlar o emergencias y de relaciones entre ellas que no podemos conocer.
2. El sistema evoluciona constantemente en el tiempo.	2.1. El fenómeno es presentado contemplando que puede predecirse con exactitud qué lo hará evolucionar y hacia dónde.

Cuadro 4.

En el proceso de definición de indicadores se valoró que la opción de establecer un diálogo entre la perspectiva cualitativa diseñada y la cuantitativa para obtener una mayor riqueza en el análisis. La visión cualitativa ofrecería posibilidades de argumentar el valor asignado

a cada fracción del trabajo analizado y, por consiguiente, profundizar en su análisis. La perspectiva cuantitativa posibilitaría generalizar los resultados de cada uno de los trabajos individuales, y en el resultado global del grupo clase.

Aplicación de los indicadores

La aplicación de los indicadores en cada uno de los Power Point realizados por los estudiantes supuso, en primer lugar, detectar y argumentar cualitativamente su presencia en cada una de las diapositivas del mismo. En segundo lugar, detectar cuantitativamente la presencia de cada uno de los indicadores en el conjunto del trabajo para generar un perfil sobre el grado de complejidad del mismo.

La identificación cualitativa de la presencia de los indicadores posibilita obtener una información muy específica. Facilita detectar aquellos contenidos concretos en los que los estudiantes incorporan aspectos de complejidad; simultáneamente, permite ver con precisión los obstáculos que éstos tenían y que deberían haberse trabajado con mayor profundidad o de otro modo. Al recoger los resultados

de este análisis cualitativo en una tabla se obtiene una visión de conjunto de los aspectos relativos a la complejidad incorporados en cada trabajo.

En la figura 1, a modo de ejemplo, se muestra el análisis cualitativo de las ocho primeras diapositivas del trabajo de un grupo de estudiantes que trabajaron el conejo. En el mismo se consideran los indicadores relativos al principio 3 de la categoría que hace referencia a la teoría de sistemas. En la tabla que recoge los resultados se detecta la presencia de los indicadores 3.1, 3.2, 3.2, 3.3, y la ausencia del indicador 3.4. Su análisis posibilita ver que los estudiantes incorporan en su trabajo el concepto de conejo como sistema en interacción con el entorno, dado que presentan la jaula como el hábitat de dicho animal y hacen referencia a los elementos que son necesarios para que el conejo pueda mantenerse con vida.

INDICADORES	DIAPPOSITIVA 2	DIAPPOSITIVA 4	DIAPPOSITIVA 5	DIAPPOSITIVA 6	DIAPPOSITIVA 8
3.1 Se presenta el sistema interactuando con el entorno.		Se presenta la jaula como el hábitat del conejo.	Se hace referencia a los elementos necesarios para preparar el hábitat del conejo.		
3.2 Se explicitan las relaciones con el entorno.	El conejo se presenta como el resultado de la fecundación entre un macho y una hembra.			Se señala el final de la relación de interdependencia entre el conejo y la madre.	
3.3 Se definen las relaciones considerando: materia /energía.					Se señala que dentro de la jaula hay materia que necesita el conejo (agua, pienso, serrín...)
3.4 Se construyen modelos explicativos de las relaciones del sistema y del entorno teniendo en cuenta los flujos de entrada y de salida.					

Figura 1. Tabla resultante de aplicar los indicadores asociados al principio 3 de la categoría relativa a la teoría de sistemas complejos, en el caso de los estudiantes que han trabajado el conejo (Se han prescindido de las diapositivas relativas a títulos y créditos).

Si bien el análisis cualitativo resulta muy útil para observar la evolución de cada aspecto concreto en un determinado trabajo, con los datos que ofrece es difícil generalizar la evolución de cada trabajo en particular y la mostrada por el grupo clase. Es por ello que se introduce la perspectiva cuantitativa mediante la construcción de una tabla que ofrece un perfil del nivel de complejidad de cada trabajo; en la figura 2 puede verse la tabla construida en el ejemplo anterior. Se construye así, un segundo nivel de análisis que sintetiza los resultados anteriores en relación a la presencia o no de los indicadores. Tras el tratamiento estadístico correspondiente se pueden obtener unos valores generales que pueden servir para obtener el perfil de complejidad de cada trabajo, compararlo con los obtenidos en los otros trabajos y sacar algunas conclusiones generales.

Algunas reflexiones finales

La sociedad actual vive cambios rápidos y constantes. Sumergidos en lo que se ha llamado la sociedad de la información (Castells, 1997), o la sociedad del conocimiento (Treceiro, 1996), los referentes se transforman continuamente y sitúan a las personas ante un futuro incierto. En este contexto, la educación se enfrenta al reto de generar instrumentos que ayuden a asumir los cambios que depara el siglo XXI. Frente a ello, sin duda, es necesario un modelo dinámico de escuela, capaz de dar respuesta a las demandas

que plantea la sociedad. Paralelamente, se precisa de un entorno de trabajo en equipo que favorezca el análisis de la realidad y la elaboración de propuestas educativas innovadoras desde la reflexión y el compromiso social. Sin duda, también se requieren procesos evaluativos que orienten las innovaciones y los cambios que se vayan produciendo en los programas educativos; un proceso en el que la evaluación no es el punto final sino un punto de partida para orientar la toma de decisiones. Al igual que todo proceso, la evaluación debe entenderse como un elemento dinámico que se mueve en el eje estabilidad – cambio y que ayuda al sistema educativo a adecuarse a las necesidades del contexto.

Una evaluación rigurosa demanda la capacidad de dotarla de un marco teórico y metodológico que permita emitir juicios fundamentados. El conjunto de indicadores que se han propuesto en este artículo se han fundamentado en los principios del paradigma de la complejidad y el marco metodológico utilizado para su definición, asume como valores epistémicos los principios asociados al mismo. Con ello es posible afirmar que el conjunto de indicadores propuestos permite una evaluación rigurosa de la presencia de elementos de complejidad en los modelos de ser vivo creados en contextos educativos diversos.

Entendemos que dichos indicadores no sólo son útiles para analizar el caso concreto de las producciones realizadas por los estudiantes de magisterio en la experiencia concreta en la que se han creado. Pueden resultar de interés para evaluar libros de texto, producciones escritas y gráficas del alumnado, discursos orales, etc. Esperamos que dichos indicadores sean una herramienta válida para evaluar la presencia de la complejidad en distintos aspectos de la dinámica de las aulas y sirvan como punto de partida para estimular su mejora y generar nuevos ins-

Categoría de indicadores relativos a la teoría de sistemas complejos adaptativos					
Principio 3: El fenómeno se explica por la interacción de un conjunto de elementos					
Indicadores	Diap. 2	Diap. 4	Diap. 5	Diap. 6	Diap. 8
TS.3.1.					
TS.3.2.					
TS.3.3					
TS.3.4					

Figura 2. Representación del perfil de complejidad de la muestra evaluada.

trumentos que ayuden a orientar la evolución del currículum de ciencias hacia el objetivo de dar respuesta a los retos que nos plantea la sociedad contemporánea.

REFERENCIAS

- ARNAL J. (1997). "Metodologies de la investigació educativa" dins de MATEO A. VIDAL M.C. (1997) *Enfocaments, mètodes i àmbits de la investigació psicopedagògica*, Barcelona: UOC.
- BORREL, E y CHAVARRIA, X. (1998). *L'avaluació interna de centre*, Barcelona: Dossiers Rosa Sensat.
- CASTELLS, M. (1997). "Flujos, redes e identidades: una teoría crítica de la sociedad informacional" dins de DD AA (1997). *Nuevas perspectivas críticas en educación* Barcelona: Paidós educación.
- GELL-MANN, M. (1995). *El quark y el jaguar, aventuras en lo simple y lo complejo*, Barcelona: Tusquets.
- TRECEIRO, J. B. (1996). *Sociedad Digit@l, Del homo sapiens al homo digitalis*. Madrid: Alianza.

SUMMARY

During the academic years 2002-2003 and 2003-2004, various proposals for the curriculum of Initial Teacher Training (ITT) were designed and applied at the Science and Mathematics Education Department, Universitat Autònoma de Barcelona from the perspective of the complexity paradigm. This article will present the set of evaluation indicators to assess the degree of complexity attained in student teachers' productions as well as the methodological framework for the use of the indicators. The final objective of this proposal is to guide decision-making to improve initial teacher training curriculum. It is hoped that this process will facilitate the integration of some elements of the paradigm of complexity in students' productions.

RÉSUMÉ

Pendant les années universitaires 2002-2003 et 2003-2004, depuis le département de la didactique des mathématiques et des sciences expérimentales de l'Université Autonome de Barcelone, on a imaginé et appliqué diverses propositions de curriculum de formation initiale du professorat en prenant comme référence le paradigme de la complexité. Dans l'article on présente l'ensemble des indicateurs d'évaluation que l'on a utilisé dans le but de mesurer le degré de complexité refléter dans les productions des étudiants et le cadre méthodologique pour son utilisation. L'objectif final de la proposition est d'orienter dans la prise de décisions vers une amélioration du programme en tant qu'élément qui favorise l'intégration de quelques éléments du paradigme de la complexité de la part de l'ensemble des élèves.