

¿UNA ASIGNATURA SISTÉMICA O SISTEMÁTICA?

A systemic or systematic subject?

Fernando F. Rojero ()*

RESUMEN

El paradigma de la complejidad, la visión sistémica del mundo, es el referente teórico más adecuado para el estudio del medio ambiente. La introducción en el sistema educativo de una asignatura dedicada a éste, debería ser una gran oportunidad para extender esta nueva visión científica del mundo. Sin embargo, existen numerosas dificultades, que van desde la tradición científica en la que está formado el profesorado, hasta las formas de pensamiento propias de los estudiantes. En la situación actual, el enfoque sistémico en lugar de ser el eje vertebrador de la asignatura, puede quedar relegado a un contenido más de ésta. Afortunadamente existen herramientas que, de ser utilizadas, podrían transformar la enseñanza, ayudando a profesores y alumnos a ver el mundo de manera más compleja.

ABSTRACT

The paradigm of complexity, i.e. the systemic view of the world, is the most adequate theoretical reference to study the environment. The recent introduction of a new subject dealing with this theme into the Educational System, should provide a great opportunity to spread this new scientific view of the world. Notwithstanding this, there exist many obstacles which may prevent it, from the scientific formation of teachers, to the different ways of thinking which are typical of the students. In the present situation, the systemic approach may be relegated to a mere content of the subject, instead of constituting its central axis.

Fortunately, there exist strategies which, being properly used, could transform the practice of teaching, helping teachers and students to regard the world in a more complex way.

Palabras clave: *Constructivismo, Complejidad, Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Concepciones de los alumnos, Concepciones de los profesores*

Keywords: *Constructivism, Complexity, Earth and Environmental Sciences Education, Students conceptions, Teachers conceptions*

INTRODUCCIÓN

La evidencia de que nuestro mundo es esencialmente complejo está por todas partes: la sociedad, la economía, el medio ambiente, el cerebro humano o el conocimiento presentan imprevisibilidad, relaciones complejas entre sus partes, cambios espaciales y temporales, etc. Características que los hacen difícilmente reducibles a algoritmos o a fórmulas sencillas, o dicho de otra manera: que se resisten a ser comprendidos de forma plena. Cuanta más información acumulamos más lejos parece encontrarse el conocimiento completo, esa comprensión definitiva que en algún momento pudo haber sido el objetivo ideal de la ciencia. No es de extrañar por tanto que en las últimas décadas hayan venido alzándose voces, y cada vez son más, que reclaman una nueva forma de enfrentarse a los fenómenos complejos que no ignore deliberadamente esta complejidad. Si la ciencia se ha venido desarrollando creyendo que la

complejidad no era más que la suma de muchos fenómenos simples y que, por tanto, se podía abordar descomponiéndola en ellos, la nueva perspectiva apunta a que esto no es posible y a que, aunque creerlo pueda haber sido útil en ocasiones, a la larga esta creencia puede llegar a producir inconvenientes que superen a las ventajas. La crisis ambiental constituye a menudo un buen ejemplo de las limitaciones de los enfoques reduccionistas.

La primera de las alternativas presentada fue la Teoría de Sistemas, enunciada en 1956 por Bertalanffy, el cual reclamaba un nuevo área de conocimiento, basándose en la idea de que existen evidentes similitudes en la estructura y organización de una variedad de objetos de estudio, y esto independientemente de qué disciplina los había venido estudiando. A estos objetos se les empezó a denominar sistemas, y al nuevo enfoque sistemismo.

(*) IES "Las Llamas". Avda. de los Castros 40-A. 39005. Santander. E-mail: ffrojero@ono.com

En las últimas décadas, las ciencias de la complejidad han terminado por constituir, alrededor de los sistemas, un cuerpo propio de conocimiento con enorme capacidad explicativa en todos los campos, permitiendo enfocar problemas viejos con una nueva visión más rica y permitiendo, como resultado de la nueva visión, plantear nuevos problemas tanto en los campos de conocimiento tradicionales como en los emergentes.

LO SISTÉMICO Y LO SISTEMÁTICO

El enfoque sistémico parte de una definición: un conjunto de elementos entre los que existan relaciones es un sistema, y de una premisa: la de que los sistemas se rigen por leyes características, comunes a todos ellos.

Teniendo en cuenta que en el mundo es casi imposible encontrar objetos que no formen parte de conjuntos de elementos con los que mantengan algún tipo de relación, resulta que el mundo está formado por innumerables sistemas que, si la premisa es cierta, podrán ser estudiados de forma similar independientemente de cuáles sean los elementos que los formen.

Del estudio de los sistemas, derivan términos como sistemática y sistémica. Está claro que no sólo no expresan lo mismo, sino que pueden llegar a significar lo opuesto. Nuestra idea es que el enfoque que se está haciendo de la asignatura de CTM (Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente del bachillerato) es de tipo sistemático, mientras que debería serlo de tipo sistémico.

Cuando los humanos observamos la enorme diversidad de sistemas que componen nuestro mundo, nuestra tendencia natural es a clasificarlos de alguna forma, incluso ignorando deliberadamente para ello su calidad de sistema. Nuestra ciencia es fruto de esta tendencia, clasificamos los sistemas asegurando que pertenecen al mundo natural o a la cultura o la economía, o que son organismos o átomos o células.

Diremos que nuestro afán por clasificar, distribuir, jerarquizar los sistemas considerándolos como elementos y no como sistemas es, paradójicamente, una tarea propia de la Sistemática y que consiste, básicamente, en encontrar características comunes a los elementos y a los conjuntos de éstos, y con ellas agruparlos para así organizar nuestra visión del conjunto. Es propio de la sistemática dividir el mundo para su estudio. Para la sistemática el mundo es un diagrama de llaves y para mucha gente, el enfoque sistemático es la única forma de enfrentarse al conocimiento.

Pero sabemos que los elementos que estamos tratando están relacionados unos con otros, así que podríamos estudiar los sistemas desde otro punto de vista, el de las relaciones que se establecen entre sus elementos, no preocupándonos excesivamente de las semejanzas o diferencias entre unos y otros, sino centrándonos en la naturaleza y resultado de sus interacciones. Tendríamos una visión del mundo muy distinta, es a la que venimos denominando como visión sistémica.

A la hora de estudiar un mismo sistema, tanto el enfoque sistémico como el sistemático empezarán por identificar los elementos componentes del sistema, pero el uso que harán de esta identificación será muy distinto: la sistemática se centrará en la descripción y catalogación de todos los elementos. Establecerá una jerarquía en la que se intentará incluir a todos los elementos en estos conjuntos. La sistemática considera que todos los elementos son igual de importantes, por lo que pretende ser exhaustiva en su catalogación.

La sistémica por el contrario, intentará identificar sin lugar a dudas cuál es el papel de cada elemento en la dinámica del sistema, diferenciando claramente aquellos elementos que tienen relevancia en las propiedades del sistema de los que tienen un papel secundario o irrelevante.

Si se reconoce alguna jerarquía entre elementos, para la sistémica se basa en el papel que el elemento representa en el sistema, mientras que para la sistemática la jerarquía se basa en el grado de generalidad o particularidad de sus características. Poniendo un ejemplo tomado de las ciencias naturales, donde la sistémica ve elementos fijadores de energía, la sistemática ve diferentes clases de plantas. La ecología es una ciencia sistémica, la botánica es sistemática.

Convendremos que hemos sido instruidos en una visión sistemática del mundo que tendemos a utilizar en nuestra forma de enseñar. El enfoque que tradicionalmente se hace en las asignaturas es de tipo sistemático. Largas series de contenidos agrupados en temas cuya lógica es la de la exhaustividad y la similitud, todos los contenidos que con esta lógica sean considerados importantes, deben ser incluidos en el programa y tratados con un nivel de profundización acorde con la generalidad o especificidad del nivel de estudio. No es de extrañar que con esta lógica del “más es mejor” los programas escolares sean cada vez más amplios.

Con un enfoque sistemático, la ciencia se considera formada, o mejor dicho dividida, en disciplinas y éstas en temas, mientras que desde una perspectiva sistémica la estructura de la ciencia viene determinada por la existencia de teorías y fenómenos, a veces disciplinares, en la mayor parte de las ocasiones transdisciplinares.

Tenemos amplia experiencia de cómo son los enfoques sistemáticos, pero muy escasa de cómo podría ser un enfoque sistémico. Nuestras reflexiones de cómo podría llevarse a cabo, al menos en la asignatura de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente del bachillerato LOGSE, es de lo que tratan las próximas líneas de este artículo.

IDEAS BASICAS DEL ENFOQUE SISTÉMICO

El enfoque sistémico se asienta en unas pocas ideas, que se pueden reducir a una idea básica: la de que los objetos de estudio presentan una “organización” que emerge de la interacción entre elementos y que está sujeta a cambios.

La organización no está dada a priori, si no que surge a causa de las interacciones que se establecen entre elementos como resultado de éstas. Con ella surge también una nueva categoría de objeto de estudio, el sistema. Por ejemplo, un organismo es el resultado de las interacciones que establecen entre si las células que lo componen. Una célula es el resultado de las interacciones entre biomoléculas, y así sucesivamente.

El sistema como tal, presenta propiedades y características que no se derivan exclusivamente de las propiedades y características de sus elementos, si no más bien de la naturaleza de esas interacciones. Es la conocida sentencia de que *“el todo es más que la suma de las partes”*.

La enorme cantidad de posibilidades que resultan de las interacciones de muchos elementos, nos sugeriría que la diversidad de sistemas posiblemente sea tan grande como el número de éstos, convirtiéndolos en objetos imposibles de estudiar.

Desde una perspectiva sistemática, es posible que lo anterior sea cierto, afortunadamente no lo es desde una perspectiva sistémica. Los sistemas, sean cuales sean sus elementos, presentan formas de organización que responden a leyes comunes a todos ellos.

Precisamente por el hecho de que los sistemas resultan de la interacción entre múltiples elementos, presentan unas características dinámicas que los hacen objetos muy interesantes para ser estudiados. Los sistemas son estructuras con capacidad de evolucionar ya que presentan fuertes tendencias al cambio que coexisten con mecanismos que tienden a minimizar estos cambios, dicho de otra manera, los sistemas tienen tendencia a seguir siendo como son, homeostasia, pero al mismo tiempo tienen tendencia a evolucionar. Cómo se mantienen en equilibrio y cómo evolucionan son dos de los aspectos más interesantes del estudio de los sistemas tanto que las formas de evolución que se producen en determinadas condiciones han dado lugar a una nueva disciplina, la denominada como ciencia del caos.

De lo anterior deducimos que los conceptos básicos en lo que se asienta el pensamiento complejo son los de Organización, Evolución e Interacción. Es básicamente lo que dice Wagensberg (1985), cuando afirma que *“comprender el mundo, acaso sólo sea comprender dos cosas: el cambio y la relación entre un todo y sus partes”*.

LAS DIFICULTADES DE ENSEÑAR CON UN PARADIGMA DE COMPLEJIDAD

La asignatura de CTM del nuevo bachillerato ha venido a significar el reconocimiento del sistema educativo al importante papel que el medio ambiente y las ciencias ambientales ocupan en nuestro mundo actual. El decidir que una parte de los estudiantes de bachillerato adquieran un conocimiento ambiental previo a los estudios universitarios, refleja la preocupación de la sociedad por este tipo de cuestiones y debería ser un reflejo de lo que ocurre en el mundo al respecto.

Si la crisis ambiental es el ejemplo de la evidencia de las limitaciones de los enfoques simplificadoros, el estudio del medio ambiente es paradigmático de la potencialidad de la perspectiva sistémica, la cual es recomendada por autores (Novo, 1985, Varios, 1991) y foros (Conferencia de Tblissi, 1977; Conferencia de Río de Janeiro, 1992).

Pero tropezamos con un serio problema: la forma de pensar compleja no es la forma *“humana”* de pensar, y como ha ocurrido ya con la mayor parte de las ideas científicas, para abrirse paso ha de luchar con ideas más intuitivas fuertemente arraigadas.

De hecho, el pensamiento complejo es un producto científico que aparece mucho después que el pensamiento lineal, analítico, haya florecido. No sólo tiene que luchar contra un pensamiento que ya ha tenido que superar la *“lógica natural”* de las personas, sino que tiene que superar a un pensamiento cuyos éxitos son evidentes. Cualquiera que enseñe ciencia, es consciente de las enormes dificultades que supone para muchos de nuestros alumnos superar una forma de pensar precientífica para asentarse mínimamente en el pensamiento científico. Muchos no lo consiguen nunca, a pesar de que las bases de este pensamiento están fuertemente asentadas en nuestro conocimiento profesional e impregnan nuestra sociedad: todos sabemos que es una hipótesis, un problema, un experimento y conocemos lo fundamental de lo que se ha venido en denominar como método científico. Y aunque no debemos ignorar en este artículo que hay una amplia investigación didáctica sobre las ideas sobre el trabajo científico, esto no significa de modo alguno que nuestra afirmación anterior sea válida.

Si es difícil que mucha gente llegue a pensar de forma *“científica”*, ¿qué no será conseguir que deje en parte de hacerlo para pensar de forma sistémica? Las ideas básicas del pensamiento complejo no están mínimamente asentadas en nuestra tradición científica y no son conocidas por la mayor parte de los docentes. Sin embargo, parece que la asignatura de CTM debería ir encaminada a instaurar este pensamiento como forma básica de estudiar el medio.

Pero si nadie sabe *“pensar complejo”*, si queremos llegar a hacerlo, deberíamos inventar procedimientos, buscar herramientas, o cualquier cosa que nos permita acceder a un tipo de pensamiento que, de momento, no nos resulta familiar.

El principal problema es que las implicaciones didácticas del paradigma de complejidad no resultan evidentes, y creemos que pocos autores de los que lo han enfocado desde el punto de vista educativo han conseguido aportar algo (Novo, 1995) lo más que se atreve es a decir: *“Es interesante que tomemos en cuenta estas consideraciones para el trabajo educativo ambiental. ¿somos conscientes de que trabajamos sobre procesos que requieren bucles recursivos para su regeneración”*

Si ya es un problema precisar en qué debe consistir ese pensamiento complejo que empieza a parecer tan necesario y del que tan poca experiencia previa tenemos. Más difícil será,

probablemente, descubrir cuáles han de ser los mecanismos y las estrategias educativas para abordar tan complicada tarea. Algunas cosas sin embargo parecen ciertas a partir de la simple reflexión teórica, como las que apunta Pozo (1999):

- los modelos de enseñanza aprendizaje habituales no sirven, los nuevos métodos deben concebirse en términos sistémicos.
- Los contenidos deben concebirse como instrumentos al servicio de esta construcción de pensamiento complejo y no como un fin en sí mismos, máxime cuando la caducidad de todos ellos es evidente en el mundo actual.
- La interacción es el motor del aprendizaje.

LOS CONTENIDOS

Ante una perspectiva tan poco clara, podemos empezar por preguntarnos ¿qué es lo que se está estudiando en la asignatura de CTM y cómo se está estudiando? Tomando como referencia los temarios oficiales y los libros de texto publicados, estaremos de acuerdo en que el enfoque es más bien de tipo sistemático, aunque hay que reconocer que algunos libros de texto realizan intentos significativos de integrar la visión de sistemas. Vemos que la mayoría de estos materiales dividen la asignatura en temas: las capas fluidas, la biosfera, la geosfera, etc. Debemos entender que el concepto de medio ambiente que subyace es el de un medio ambiente “aditivo” (Varios, 1991), es decir formado por la unión de todos los elementos citados.

¿Qué es lo que hacen los expertos en sistemas cuando estudian el sistema medio ambiente? En el texto de Meadows (1992), aparece: *“El estudio de sistemas nos ha enseñado a ver el mundo como un conjunto de modelos de comportamiento dinámico en desarrollo, tales como crecimiento, disminución, oscilación, sobrepasamiento. Nos ha enseñado a centrarnos en las interconexiones”*

El medio ambiente que aparece en el libro de Meadows se parece muy poco al que se deduce de los temas de selectividad. En éste encontramos que el mundo se concibe como un ecosistema global en el que población y capital obtienen materiales y energía a partir de las denominadas “fuentes planetarias” y desprenden residuos y contaminación a los denominados “sumideros planetarios”.

EL PENSAMIENTO DEL ALUMNADO Y LA COMPLEJIDAD

La emergencia del paradigma de complejidad ha venido gestándose en las últimas décadas, aunque fuera a través de la publicación de una serie de obras como: “El método” (E. Morin, 1981) o “La nueva Alianza” (Prigogine y Stengers, 1979) que la nueva visión se fue haciendo popular entre sectores más amplios que los propios investigadores.

Un paradigma es, de alguna manera, una nueva visión del mundo que viene a rechazar una parte sustancial de la visión anterior (Kuhn, 1962). En el

caso del paradigma de la complejidad, su rechazo más evidente es hacia la visión reductora (o “reduccionista”) que venía subyaciendo a nuestro conocimiento científico y que impregnaba, impregna todavía, a nuestra sociedad en todos sus ámbitos.

Un cambio de paradigma, tanto para la ciencia como para un individuo en particular, es un proceso que entraña enormes dificultades. Cuando alguien está utilizando un paradigma como su visión del mundo, tiene tendencia a considerar a éste como la realidad. De alguna forma los que creen en paradigmas distintos viven en mundos distintos. Es así que cualquier información que no encaja en el paradigma que practicamos, tendemos a reformularla hasta hacerla compatible con él. Nos resulta enormemente difícil admitir que existe una visión alternativa a nuestro sistema de creencias. En el ámbito de la enseñanza científica, todos los que nos afanamos por practicar alguna forma de constructivismo, tenemos sobrada experiencia acerca de las dificultades que comporta el más mínimo cambio conceptual. ¿Qué no va a suponer intentar sustituir una visión del mundo por otra?

Pero es más, como hemos señalado anteriormente, la experiencia docente y la investigación educativa nos informan de que los alumnos no tienen en muchos casos una visión del mundo que podamos considerar paradigmática desde el punto de vista científico, en su pensamiento coexisten ideas contradictorias que la enseñanza de las ciencias intenta reconstruir. ¿Cómo van a dar el paso de un paradigma científico a otro si no han acabado de construir el primero?

LOS OBSTÁCULOS COGNITIVOS

En muchas de las perspectivas constructivistas sobre el aprendizaje, se considera que los verdaderos obstáculos para el cambio conceptual serían formas de razonamiento bien ancladas.

Con respecto a la construcción de un pensamiento complejo, una de estas formas puede ser la denominada como “reducción funcional”, la tendencia a analizar menos variables de las que intervienen en un problema concreto. Esta tendencia a no tener en cuenta todas las variables, es muy probable que sea una característica del pensamiento humano, pero que al ejercerse, parece que está relacionada con cuestiones afectivas, estéticas o de poder, o sea de contexto. El razonamiento, se hace de una forma secuencial: de la primera de las posibilidades se elige una, casi siempre más por cuestiones de las citadas anteriormente que por cuestiones de lógica, esto explicaría, de paso, la enorme dependencia del contexto de las concepciones (teorías de dominio según Pozo et al., 1999). A continuación se analizaría la segunda variable, donde se repetiría la forma de actuar, y así sucesivamente. Parece evidente que el orden en el que se discriminan las variables, está relacionado también con cuestiones no sólo cognitivas, sino emocionales (afectivas, estéticas y de poder) y de otro tipo que conforman nuevamente el contexto en el que se hace la elección.

El “razonamiento lineal” en cuanto a la causalidad, se menciona también como una de las formas de reducción de variables.

Las implicaciones didácticas son, evidentemente, habría que intentar cambiar las formas de razonar. Los estudios sobre expertos y novatos a la hora de resolver problemas, son buenos indicadores de cómo las personas procesan unas informaciones antes que otras y, sobre todo, cómo las informaciones que procesan en primer lugar son diferentes en función de sus conocimientos previos, pero también del contexto. En las entrevistas que realizamos a los alumnos sobre sus ideas científicas, vemos como éstos van tomando decisiones en función de las cuentas que se hacen acerca de la situación (“pensé que iba a estar mal, etc.”).

Un ejemplo puede ser la discusión que tuvimos en un curso de formación de profesorado, acerca de si las huellas de oso que habían encontrado durante una salida de campo (y que un colega y yo habíamos colocado la tarde anterior) eran auténticas, vimos cómo cada uno de los participantes utilizaba para decidirse en un sentido u otro, los recursos mentales de los que disponía, entre los que se encontraban actitudes, como por ejemplo la de desconfianza ante las “casualidades”, pero también el deseo de haber vivido la experiencia singular de encontrar estas huellas. Otros de los recursos utilizados eran de tipo procedimental, útiles a la hora de ver y valorar las huellas. El tercer grupo de recursos fue la utilización de sus conocimientos y experiencias previas acerca de la biología y costumbres de los osos y de las personas, incluidas las mías, claro. El uso preferente de alguno de estos recursos sobre otros era lo que les había decidido sobre si las huellas eran verdaderas o no. La discusión hizo que muchos de ellos cambiaran su idea inicial, al considerar ahora de forma simultánea argumentos que previamente habían desechado.

TRES CONCEPTOS BÁSICOS A CONSTRUIR

Hemos visto que la complejidad se asienta sobre tres conceptos básicos, el de organización, el de interacción y el de evolución. El que un pensamiento sea complejo o no depende en gran medida del grado de desarrollo de estos conceptos. Desarrollarlos podría ser la base conceptual adecuada para construir formas de pensamiento complejas.

Un alumno con una buena teoría sobre la organización sería capaz de reconocer la unidad esencial del mundo material, es decir, que todo está formado por átomos y moléculas, incluida la materia viva que a su vez está organizada en células, y así sucesivamente. La utilización simultánea de múltiples puntos de vista sobre el mismo objeto es una de las características del enfoque sistémico.

En una primera aproximación didáctica al concepto, observamos que, con frecuencia, encontramos el obstáculo de que una parte de los alumnos no son capaces de identificar los elementos de un sistema, desconociendo en muchos casos la existen-

cia de esos elementos (caso de la estructura de la materia) ni cómo están organizados. Evidentemente el concepto de organización está muy ligado al de interacción solapándose con él en muchos aspectos. Por ejemplo, la estructura de la materia se corresponde con una organización en moléculas y átomos, que dan lugar a materia orgánica e inorgánica, pero los estados de la materia son resultado de la interacción entre esas moléculas, interacción que varía según la interacción con factores externos. De la misma forma ocurre en el nivel microscópico, la organización es celular, pero la interacción es la que produce la emergencia de los fenómenos vitales, o en el ecológico, donde la organización es a base de individuos, pero la interacción es la que produce la emergencia del ecosistema.

Construir el concepto de organización vendría a ser algo así como: Comprender que todos los objetos de estudio son sistemas que están formados por elementos, que a su vez son sistemas, y que interactúan de alguna forma. Esto nos lleva a una organización del mundo material en una serie de niveles de organización que surgen de los anteriores y que todo el mundo debería conocer. Wagensberg (1998) y Laszlo (1986) son algunos de los autores que han hecho clasificaciones de los niveles de organización de la materia:

Niveles	Laszlo	Wagensberg	Ciencia
0	quarks	Partículas subatómicas	física
1	protones y neutrones		
2	átomos	átomos	química
3	moléculas	moléculas	
4	macro-moléculas		bioquímica
5	protozoos	células	biología
6	metazoos	organismos	
7	ecosistemas	familias sociedad multifamiliar	ecología
8	sistemas socio-culturales	sociedad de sociedades multifamiliares	ciencias ambientales

En algunos programas de biología, el orden de los temas sigue los niveles de organización, estudiándose primero el nivel atómico y el molecular, para pasar al celular y terminar por la ecología. Sin embargo, estudiar diferentes niveles de organización, no implica estudiar la principal característica organizativa, la interdependencia entre esos niveles y la emergencia de propiedades, o la no reductibilidad de un nivel al de las propiedades de sus elementos.

En general podemos considerar que el concepto de organización es un concepto estructurante (Ga-

gliardi, 1986) del pensamiento complejo, que incluye la capacidad de comprender las relaciones entre lo macroscópico y lo microscópico o las relaciones entre lo macroscópico y lo global, por ejemplo las que existen entre los individuos y las poblaciones o los ecosistemas y las relaciones entre lo microscópico y lo global, por ejemplo las derivadas de cambios en la capa de ozono o el efecto invernadero.

La explicación biológica de fenómenos aparentemente sólo físicos (descomposición, producción de yogur, etc.), entra de lleno también en este apartado. O sea, que de alguna manera, el concepto bien desarrollado llevaría a comprender cualquier fenómeno a varios niveles. Es decir, la explicación biológica de fenómenos físicos y químicos y la explicación físico-química de fenómenos biológicos, así como la explicación ecológica de fenómenos físico-químicos y biológicos y viceversa. Lo cual choca frontalmente con la idea de "reducción funcional" que tratábamos antes.

El objetivo de desarrollar una teoría sobre la organización, choca también con otra forma habitual de "reducción funcional" utilizada frecuentemente, según la cual, la explicación de cualquier fenómeno está siempre en el nivel microscópico.

En resumen, el concepto de organización supone ser capaz de ver cualquier fenómeno a diferentes escalas (desde submicroscópica hasta macroscópica) y desde diferentes disciplinas (biología, física, química, economía, historia, etc.).

Hemos señalado anteriormente que el concepto de interacción y el de organización se encuentran fuertemente ligados, sin embargo, es este último el que da sentido al anterior. Si los sistemas existen es porque sus elementos se relacionan entre sí, no olvidemos que la organización es una "emergencia" resultado de las interacciones, sin embargo, reconocemos que es más fácil una aproximación, aunque sea estática al concepto de organización que al de interacción. Los conceptos de interacción y el de emergencia están tan ligados, que es posible que sea al concepto de emergencia al que hubiera que hubiera que considerarle como un concepto estructurante. Howard Pattee, citado por Gagliardi (1986), dice que *"cada elemento de un organismo tiene una serie de posibilidades de configuración, pero que el conjunto de los otros elementos lo restringe, obligándolo a adoptar una de ellas. A su vez, este elemento participa en la determinación de los demás. Las propiedades de un sistema complejo están determinadas por las restricciones mutuas entre los componentes que determinan la aparición de un nuevo nivel de organización"*.

Los autores del proyecto IRES (1991), hablan de una forma de pensar del alumnado que denominan "organización aditiva", en la que no se reconocen interacciones y en la que, por lo tanto, no se reconoce el valor organizador de las relaciones, predominando las relaciones causales unidireccionales y evidentes (tróficas).

Las interacciones suponen intercambios de materia e información o de energía e información. Pro-

blemente, un posible cambio conceptual en la elaboración del concepto de interacción esté en la identificación de la información como componente esencial de las interacciones. Claro que esto requiere una idea previa de información más amplia que la espontánea de información humana.

No debemos olvidar que el concepto de "causalidad" está en relación con el de interacción, utilizar una causalidad de tipo lineal supone un bajo desarrollo del concepto de interacción, mientras que considerar a la causalidad múltiple o ecológica, supone un nivel elevado. Según Astolfi (1994), la causalidad lineal, comúnmente usada en el pensamiento no complejo, excluye la idea de sincronía en las interacciones.

Es evidente que el concepto de organización requiere del de interacción, cosa que no ocurre necesariamente al contrario, la organización es resultado de las interacciones que se estabilizan, sin embargo, como adelantábamos, la organización permite una visión estática previa que no requiere de la interacción. El cambio conceptual sería también cambiar de visión estática de la organización a visión dinámica, lo que incluye integrar en el esquema a las interacciones.

Para Gagliardi, sin el concepto de sistemas jerárquicos de restricciones múltiples y mutuas, no puede comprenderse cómo aparecen nuevas propiedades, nuevos niveles de organización, o sea, en nuestro lenguaje, sin el concepto de interacción, no se puede comprender el de emergencia y con él el de organización.

Las interacciones que dan lugar a una organización pueden variar en cantidad y en calidad. Como resultado de ello, cambia la organización, produciéndose la evolución del sistema. Desde este punto de vista, la evolución sería un concepto más elevado que los anteriores, sin embargo, la evolución admite una visión no interactiva, o débilmente interactiva, fundamentada más en las relaciones con el entorno que en características propias de la dinámica del sistema, como son las visiones lamarckista e incluso la basada en la selección natural. Ambas se fundamentan, o al menos se pueden entender, con una visión causal de tipo lineal. La visiones evolutivas más complejas de reciente aparición resultan mucho más coherentes con un modelo complejo del mundo como el que estamos intentado desentrañar.

La evolución tiene reglas derivadas de esta concepción (cambio de interacciones). La idea de autopoiesis (propiedad de los sistemas de reconstruirse a sí mismos) como concepto estructurante que maneja Gagliardi (1988), está claramente relacionada con la visión compleja de la evolución.

El pensamiento del alumno es inicialmente no evolucionista, es decir estático. Ésta es la visión que la humanidad tuvo del mundo durante la mayor parte de su existencia. Con el tiempo va apareciendo un concepto de evolución de tipo lamarckista respecto a los organismos; se tiene la idea de que los seres vivos tienen capacidad adaptativa a las condi-

ciones del medio, utilizándose con frecuencia la expresión “se han acostumbrado” para referirse a ello. Esta visión se corresponde con una visión teleológica respecto a la evolución de los sistemas de orden superior al de los organismos, se piensa que los ecosistemas evolucionan hacia una situación estable, lo que los ecólogos han llamado clímax, y que la sociedad tiende hacia el progreso. Respecto a los sistemas geológicos, se consideran estables, solamente alterados por ocasionales catástrofes. Por supuesto que no se tienen ideas respecto a evolución a niveles inferiores como el celular, el molecular o el atómico.

El primer problema didáctico es que la construcción de una teoría evolutiva de tipo darwinista plantea ya un problema didáctico de primer orden. Por supuesto que la construcción por parte del alumnado de una teoría evolutiva de tipo complejo, con emergencia de nuevos niveles de organización como la que plantea Lazslo (1987), se nos antoja simplemente imposible. Sin embargo, esto no debe ser óbice para una propuesta como la nuestra que, lógicamente, no busca un objetivo final, sino preparar las condiciones conceptuales, procedimentales y las actitudes adecuadas para que las personas puedan llegar algún día a construir este tipo de visones.

El estudio de la evolución de los ecosistemas es un territorio intelectual fascinante para poder avanzar en el desarrollo de una teoría evolutiva compleja. Sin embargo, las herramientas conceptuales con las que nos encontramos a la hora de su estudio en el aula, proceden de una ecología clásica muy reduccionista en sus planteamientos, de manera que se estudia que hay una sucesión, cuyas razones se justifican levemente como modificación de las condiciones del hábitat, concediendo la mayor importancia al hecho de la evolución hacia el clímax en lugar de a la reflexión sobre las condiciones y procesos que hacen posible esa evolución.

Parece claro que el desarrollo de una teoría evolutiva compleja, necesita del desarrollo previo de una buena teoría sobre la organización y la interacción. Las teorías previas de carácter lamarckista que los estudiantes suelen poseer, se basan en una causalidad de tipo lineal e ignoran el proceso de la auto-poiesis, concepto que, al igual que nos ocurría con el de emergencia respecto a la interacción, presenta con respecto al de evolución una complementariedad que lo convierten en un concepto tan estructurante como éste.

Por otra parte, el reconocimiento de la existencia de estas organizaciones, obliga a dejar de pensar siempre en que para comprender hay que desmenuzar, analizar, fragmentar, para pensar que, por lo menos en algunos casos es mejor intentar sintetizar, unir.

Sin embargo, el pensamiento complejo es fuertemente contraintuitivo: ¿quién es capaz de imaginarse a sí mismo como el resultado de la autoorganización debida a las interacciones entre billones de células?

HERRAMIENTAS PARA UNA CIENCIA DE LA COMPLEJIDAD

El problema de la complejidad no es únicamente el de los objetos de conocimiento, es también el de los métodos de conocimiento.

La ciencia que hemos venido conociendo es la ciencia de los laboratorios. Para las ciencias naturales el microscopio es la herramienta por antonomasia. Hasta los centros educativos peor dotados disponen de algún laboratorio con microscopios. El laboratorio y el microscopio son la esencia de una forma de ver el mundo que clasifica los objetos de estudio y luego los analiza para volver a clasificarlos en grupos con mayor nivel de detalle y así sucesivamente.

Pero ¿cuáles son las herramientas para una ciencia que se aparta de la disección y el análisis para buscar la integración y las relaciones?

Rosnay (1977) imaginó una herramienta para esta nueva ciencia a la que denominó “Macroscopio”. El problema es que el macroscopio no tiene una existencia física ni existe un laboratorio donde utilizarlo, el laboratorio es el mundo real. El macroscopio es una herramienta heurística cuya concreción en algo tangible es difícil, así que si queremos plantearnos siquiera trabajar con un enfoque sistémico, deberemos empezar por buscar alguna herramienta que pueda hacer de macroscopio.

Si lo pensamos detenidamente, todos hemos utilizado en alguna ocasión “macroscopios”, por ejemplo los mapas conceptuales o los diagramas causales, entre las que incluiremos a las cadenas y redes tróficas. Estas herramientas nos sirven para integrar las relaciones entre elementos e intentar abarcar una visión global de lo que ocurre en el sistema.

Pero dibujemos una red trófica de sólo nueve elementos e intentemos comprender su funcionamiento. Por ejemplo ¿qué ocurriría si desaparecieran los zorros? Veremos la dificultad de responder a esta aparentemente simple cuestión.

Pero convendremos que el mero hecho de haberla representado, ya supone un avance, estamos en el camino de reconocer que uno de los mejores candidatos para “macroscopio” es la simulación por ordenador de modelos matemáticos de los sistemas, es más, creemos que probablemente este sea el macroscopio más potente con el que contamos en la actualidad.

Con este macroscopio se han realizado importantes observaciones sobre el medio ambiente. La primera que se hizo verdaderamente famosa fue la realizada en el MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts) cuando un equipo dirigido por Meadows publicó en 1972 el “Primer Informe al Club de Roma: Los límites al crecimiento”, que tanta importancia ha tenido en el desarrollo del pensamiento ambientalista.

Cuando en 1992 se publicó “Más allá de los límites al crecimiento” el nuevo trabajo del mismo equipo, nos interesamos en la posibilidad de conse-

guir una copia del programa "Wordl 3". Ni que decir tiene que enseguida comprobamos que aquello quedaba muy lejos de las posibilidades económicas e informáticas de las que disponía un centro educativo español.

Sin embargo esta "herramienta" y otras similares están, hoy en día, al alcance de cualquiera que disponga de un ordenador moderno y una conexión a Internet y del suficiente interés para aprender a manejar un programa nuevo que además está en inglés.

Pero ¿cuántos centros disponen de ordenadores que estén dedicados a la enseñanza de algo que no sea el propio manejo de ordenadores? ¿Cuántos alumnos y profesores disponen de conocimientos de inglés y de informática que no sean "elementales"?

El nuevo laboratorio para las ciencias ambientales es el ordenador y la nueva lente está en nosotros mismos, es la capacidad de ver el mundo como conjuntos de sistemas en interacción.

CONCLUSIONES

Siempre que se plantean cambios, aunque sean menores, en las asignaturas del curso que precede al examen de selectividad, aparecen voces que se oponen a ellos en defensa de un hipotético "bien del alumno". Se supone que para el alumno lo importante es aprobar, incluso en detrimento de la construcción sólida de conocimientos. Es una idea tan generalizada entre los destinatarios de la educación y sus representantes legales que, de alguna forma, termina por impregnar a todo el sistema educativo.

Promover un enfoque sistémico en estas circunstancias, es una apuesta difícil, puesto que nos enfrenta al problema de los fines de la educación, debate que todavía está pendiente en nuestro país. En este caso, el debate se presenta bajo la cuestión de decidir si el sistema educativo debe estar dirigido a la transmisión de contenidos (enfoque sistemático) o a la generación y utilización de formas de pensamiento (enfoque sistémico). Debates viejos nunca resueltos que terminan por resolverse en un eclecticismo que deja todo como estaba.

El pensamiento complejo es una necesidad en un mundo complejo, pero solamente es posible para aquellas personas que hayan desarrollado suficientemente un pensamiento analítico, es una superación de éste.

Si constatamos que el enfoque sistemático basado en la transmisión no consigue el primer paso en un elevado porcentaje de alumnos, nos queda que el pensamiento complejo sólo puede ser un referente utópico al que deberían encaminarse nuestras acciones.

Por lo tanto, y desde nuestra perspectiva, los alumnos deberían ser instruidos en formas de pensamiento analítico en una primera fase, para poder dar el paso posterior hacia el pensamiento complejo. Estudiar la teoría de sistemas y el uso de mode-

los en el primer tema del curso, como si se tratara de un contenido más, o sea desde una perspectiva sistemática, es un error, máxime si no se van a seguir utilizando el resto del año.

Es posible que la mejor opción sea la de diferenciar claramente y de forma inteligible para el alumno qué se está estudiando de forma sistemática, analítica, siempre en una primera fase y qué se está estudiando desde una perspectiva dinámica, de complejidad, en una segunda fase en la que la integración con otros aspectos del medio ambiente sea clara.

Nada de esto será posible sin una adecuada formación del profesorado y sin una reestructuración de los espacios y equipamientos de enseñanza. Mientras los ordenadores de los centros sólo sirvan para enseñar ofimática, mientras no existan aulas laboratorio de ciencias adecuadas a los nuevos tiempos. Mientras se confunda la docencia del bachillerato con una academia para la preparación de la selectividad, todo lo que hemos entrevisto en este artículo no será más que una utopía más de las que de vez en cuando soñamos algunos profesores. ¿o no?

BIBLIOGRAFÍA

- Bertalanffy, L. (1956). *Teoría General de los Sistemas*. (Fondo de Cultura Económica: México). 1976.
- De Rosnay, J. (1977): *El macroscopio*, A.C. 1975
- Gagliardi, R. (1986). Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*. vol. 4. pp: 30-36.
- Kuhn, T.S. (1962). *La Estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica: México. (1971)
- Laszlo, E. (1987). *Evolución: la gran síntesis*, (Espasa-Calpe: Madrid) 1988
- Meadows, D. H. et al. (1972). *Los límites del crecimiento*. Fondo de Cultura Económica: México
- Meadows, D. H. et al. (1992). *Más allá de los límites del crecimiento*. El País - Aguilar. Madrid.
- Morin, E. (1981): *El método I. La naturaleza de la naturaleza*, Cátedra. 1977
- Novo, M. 1995. *La Educación Ambiental: Bases éticas, conceptuales y metodológicas*. Universitas. Madrid.
- Pozo, J.I., Scheuer, N., Pérez, M y Mateos, M. (1999). "El cambio de las concepciones de los profesores sobre el aprendizaje" en *Educación Científica*. Universidad de Alcalá
- Prigogine I. y Stengers I. (1979). *La Nueva Alianza*. Alianza: Madrid.
- Puig J.M. (1986). *Teoría de la educación*. PPU. Barcelona.
- Varios (1991). *Proyecto Curricular "Investigación y Renovación Escolar" (IRES)*. Tomo IV. Grupo Investigación en la Escuela. Sevilla.
- Wagensberg, J. (1985). *Ideas sobre la Complejidad del Mundo*. Tusquets: Barcelona.
- Wagensberg, J. (1988). Artículo publicado en el diario EL País. (24/1/98). ■