

Pensamiento sistémico en el aula*

Rosa I. Pedreros M.**
Clara I. Chaparro S.***
Néstor Méndez****
Hugo Sastoque*****
César Prías*****

Fecha de elaboración: abril de 2006

Fecha de aceptación: 19 de mayo de 2006

Resumen. Con la pretensión de consolidar una alternativa pedagógica y didáctica para la enseñanza de la Física, que supere algunos de los problemas de la actual forma de enseñanza de esta disciplina científica en el nivel de educación básica, se adelanta un trabajo pedagógico denominado Introducción a la física desde la perspectiva de los Sistemas Dinámicos; experiencia que permite asegurar la posibilidad de realizar actividades significativas y pertinentes en educación básica, particularmente en el área de ciencias, en la dirección de desarrollar en los estudiantes el pensamiento sistémico.

Palabras clave: pensamiento sistémico, sistemas dinámicos, variable, interacción, enseñanza.

Systematic way of thinking at a lecture room

Summary. We present an introduction to physics from a perspective of the Dynamic Systems in order to consolidate a pedagogical and didactical alternative for teaching of physics, with a goal to overcome multiple problems of the current form of teaching in primary education. This experience proves that it is possible to carry out significant and lasting changes in primary education of science and to help students develop a systemic way of thinking.

Key words: systemic way of thinking, dynamic systems, variable, interaction, teaching.

Introducción. El mundo contemporáneo demanda, para su explicación y comprensión, formas de pensar alternativas que superen los planteamientos de lo que se ha venido denominando el pensamiento positivista, en el que se percibe la naturaleza o sus eventos como un objeto de estudio compuesto por partes, que participa de la convicción de un mundo mecanicista y causal. Una de estas formas alternativas de pensar se denomina pensamiento sistémico, que se basa en la construcción del mundo "real" y físico en términos de totalidades; para su descripción, interpretación, comprensión y forma de actuar en el mundo, hace uso de principios epistemológicos como la autoorganización, la autopoiesis y los niveles de organización.

Bajo el enfoque sistémico, el observador deja de ser un ser pasivo independiente de lo observado, se establece una relación estrecha entre el observador y el objeto observado, de manera que su "realidad" es producto de un proceso de construcción entre él y el objeto observado, constituyéndose la realidad en algo que ya no es externo al observador y común para todos, sino que esa "realidad" se convierte en acuerdos temporalmente válidos para un colectivo.

* Este artículo recoge reflexiones e indagaciones del Proyecto "Los Sistemas Dinámicos y el Pensamiento Sistémico en el Aula". CIUP, código DFI 036 - 04. Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional.

** Magíster en Docencia de la Física. rpedreros@uni.pedagogica.edu.co

*** Doctorado en Historia, lógica y filosofía de la ciencia, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España. Magístra en Docencia de la Física y licenciada en Física y Química, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá. chaparro@uni.pedagogica.edu.co

**** Magíster en Ciencias-Física. nmendez@uni.pedagogica.edu.co

***** Licenciado en Física. hugosastoque@uni.pedagogica.edu.co

***** Titulado en Ciencias Económicas y Administrativas. cprías@uni.pedagogica.edu.co

El pensamiento sistémico (PS) se desarrolla formalmente a partir de los cuestionamientos que desde el campo de la Biología hizo Bertalanffy (1986), quien replanteó la aplicación del método científico en los problemas que se enmarcan dentro del ámbito de lo que hoy conocemos como el paradigma de la complejidad, caso de la física de procesos, la biología y el mundo social, entre otros. El pensamiento sistémico requiere la integración y la interconexión de las partes en un todo, tanto en el estudio de las situaciones como en las conclusiones que se derivan de este; bajo esta perspectiva, las soluciones propuestas a los diferentes eventos del mundo natural incluyen necesariamente los diversos elementos y las múltiples relaciones que conforman la estructura de lo que se define como "sistema", así como también todo aquello que conforma el entorno del sistema definido.

En un sentido general, el PS se concibe como una nueva visión acerca del mundo y la manera como este es construido, es decir, observado, analizado y descrito; se constituye a partir de la aparición de la Teoría General de Sistemas, en la cual se considera que cada sistema se forma a partir de otros subsistemas que se encuentran interrelacionados y cuyas interacciones son las que definen las características y comportamiento del sistema general, el cual no se establece como una suma de sus partes, sino que es aún mayor que ellas, al considerar las propiedades emergentes a partir de sus relaciones.

Esta gran estructura entrelazada y compleja viene a ser en gran parte la característica principal de lo que es el pensamiento sistémico. El pensamiento desde una estructura sistémica privilegia *el cambio de las partes al todo*, es decir, en el estudio de los fenómenos se considera el todo como el universo de interacciones alrededor de nuestro objeto de estudio, este no se ve aislado de su entorno sino que se consideran sus múltiples relaciones con él. Es claro que el considerar absolutamente todas las variables que intervienen en el ambiente de tal objeto resultaría físicamente imposible, aunque en la actualidad se cuenta ya con herramientas suficientes para abordar problemas bastante complejos, en los que intervienen n variables y de los cuales se pueden obtener resultados en términos analíticos, numéricos o cualitativos (Blanchard y otros, 1999). No se trata de considerar tantas variables como sea posible, sino de pasar de ver el objeto como una partícula aislada, a hacerla parte de un medio que se relaciona con su comportamiento e interviene en el mismo; de esta manera se puede hablar de un pensamiento ecológico-ambiental.

El considerar que cada sistema se constituye de otros subsistemas (sistemas dentro de sistemas) permite focalizar la atención alternativamente en distintos niveles sistémicos, es decir, cada uno de estos niveles posee un grado de complejidad diferente, que puede o no ser reflejado en el sistema total y que además requiere tratamientos e interpretaciones diferentes o específicas; de dicho nivel también emergen propiedades que se relacionan con el todo, además de existir una retroalimentación interna bajo la cual la consecuencia de alguna acción repercutirá posteriormente en las condiciones de la acción misma, en cada nivel y en el sistema general. La habilidad para enfocar la atención sobre un nivel específico, considerando que hace parte de un todo y que esta relación afectará recíprocamente (Capra, 1998), además de poder sesgar las variables que intervienen en el objeto de interés, constituye otra importante característica del pensamiento sistémico.

Maneras de comprender el pensamiento sistémico

El cambio del pensamiento reduccionista al pensamiento sistémico se genera cuando se trata de incrementar la descripción de un fenómeno en estudio, traducida en el número de variables que se tienen en cuenta. Un ejemplo clásico se encuentra en el modelo del oscilador (péndulo); cuando se incrementa el ángulo de oscilación, la ecuación diferencial que da cuenta de la evolución del sistema contempla factores no lineales que hacen que la ecuación no tenga una solución analítica, es decir, que no se encuentre una función matemática que dé cuenta de dicho movimiento.

En este sentido, el pensamiento sistémico se convierte en una tendencia importante; sin embargo, en nuestro medio han sido pocas las investigaciones relacionadas con esta forma de pensamiento en el aula. En particular, al respecto del pensamiento sistémico, el profesor Segura (2002) plantea que es posible su comprensión a partir de cuatro características (tal como lo propone Ossimitz, 1994):

a) Pensamiento en términos de modelos. Es importante tomar conciencia de que cuando pensamos, lo hacemos poniendo en juego nuestras visiones del mundo, esto es, en términos de modelos. En tal sentido, cuando pensamos sistémicamente, se pone en juego tanto la elaboración consciente de los modelos como su validación y desarrollo posterior. En estas visiones son

importantes las concepciones acerca de la causalidad y las formas de representación apropiadas, como la utilización de bucles. La existencia de los bucles de recursividad es también importante en el proceso de elaboración de modelos ya que cuando estos se construyen, por ejemplo en dinámicas de explicación, se elaboran con base en lo que ya sabemos, con base en nuestra experiencia.

b) Pensamiento interrelacionado. Es una novedad frente a las formas usuales de pensar en términos de relaciones causa-efecto, que son las que han caracterizado tanto las descripciones como las explicaciones y las búsquedas en la ciencia moderna. Cuando se habla de pensamiento interrelacionado nos encontramos con la gran riqueza que surge de la identificación de las interacciones entre las partes de un todo (sistema, por ejemplo), y de bucles de retroalimentación que son necesarios cuando el modelo considera el tiempo. En este caso se toma en consideración el elaborar explicaciones y modelos, efectos indirectos y redes más o menos complejas de causa y efecto, que se dan en el tiempo en una perspectiva dinámica.

c) Pensamiento dinámico. Cuando se habla de este tipo de pensamiento, se enfatiza en la posibilidad de anticiparse; se sacrifican las descripciones reversibles en las que estas son idénticas sea que se avance o retroceda el tiempo, y nos adentramos en el estudio de fenómenos en que el apareamiento del caos determinista es fuente de explicaciones en un ámbito en el que vivimos un aumento inevitable de entropía (sistemas no reversibles). En este caso nos encontramos con emergencias inesperadas y niveles de organización. El pensamiento dinámico nos orienta hacia la elaboración de simulaciones mediante recurrencias y con ello a la posibilidad de contar con predicciones a corto plazo del fenómeno que se estudia.

d) Pensamiento dirigido. No se queda en la descripción sistémica sino que se preocupa por la acción orientada sistémicamente. En este sentido, cuando estamos interesados en una meta, nos preguntamos por cuáles de las componentes del sistema se pueden cambiar para propiciarla. Se trata, pues, de considerar múltiples variables, incluso aquellas que hacen que nuestras ecuaciones diferenciales sean tan complejas que no puede darse a ellas un tratamiento cuantitativo, sino aproximaciones cualitativas y simulaciones matemáticas.

Por su parte, Capra (1998) plantea que la humanidad solo podrá mantenerse si cambia esencialmente su modo de vida. Esto requiere, ante todo, otra forma de pensar, otra "percepción" del mundo, compleja en vez de lineal, en redes y en arcos en lugar de líneas de llegada y curvas estadísticas. Hay que moverse dentro de los valores cualitativos en vez de cuantitativos, pues el mundo es más que la suma de las partes. Capra considera que las características esenciales del pensamiento sistémico son:

El cambio de las partes al todo, que se puede también contemplar como el cambio de objetos a relaciones. Por ejemplo, en los sistemas vivos sus propiedades esenciales o "sistémicas" son propiedades del conjunto, que ninguna de las partes tiene por sí sola. Emergen de las "relaciones organizadoras" entre las partes, es decir, de la configuración de relaciones o sistemas.

Habilidad para focalizar la atención alternativamente en distintos niveles sistémicos; a través del mundo viviente nos encontramos con sistemas dentro de sistemas. Distintos niveles sistémicos corresponden a distintos niveles de complejidad. En cada nivel, los fenómenos observados poseen propiedades que no se dan en niveles inferiores. Las propiedades sistémicas de un nivel concreto reciben el nombre de propiedades "emergentes", puesto que emergen precisamente en aquel nivel.

El pensamiento sistémico es contextual, es contrario al analítico. Análisis significa aislar algo para estudiarlo y comprenderlo; el pensamiento sistémico encuadra este algo dentro del contexto de un todo superior. La explicación en términos de contexto significa la explicación en términos de entorno; se puede afirmar que el pensamiento sistémico es un pensamiento ecológico. En la visión sistémica los objetos en sí mismos son redes de relaciones inmersas en redes mayores. Para el pensador sistémico las relaciones son prioritarias.

Capra considera que en el pensamiento sistémico la metáfora del conocimiento como construcción de un edificio con base en pequeñas unidades, queda reemplazada por la de la red. Al percibir la construcción de la "realidad" como una red de relaciones, nuestras descripciones forman también una red interconectada de conceptos y modelos en la que no existen cimientos. Además, implica que la visión de la realidad como una red inseparable de relaciones afecta al concepto tradicional de la objetividad científica. En el paradigma cartesiano, las descripciones son consideradas objetivas,

es decir, independientes del observador humano y del proceso de conocimiento. El nuevo paradigma implica que la epistemología –la comprensión de conocimiento– debe incluirse explícitamente en la descripción de los fenómenos naturales.

Por su parte, la psicóloga García (1990), en su artículo “Reflexiones sobre el pensamiento sistémico y organizaciones inteligentes – Peter Senge”, plantea que si bien el pensamiento sistémico es el eje central del cual se derivan organizaciones inteligentes, más que analizar los componentes que podrían conformar una manera de pensar sistémica, es preciso para hacer más viable su aplicabilidad el verlo como un estilo de vida o, como dice Capra, un modo de vida. La autora plantea que para hablar de estilo de vida es importante revisar las pautas culturales y sociales que de una forma u otra condicionan nuestro aprendizaje y nos hacen reaccionar como miembros de una determinada sociedad, en ciertos casos, de maneras similares.

Respecto a la visión sistémica, a la enseñanza y aprendizaje desde un pensamiento sistémico, el equipo de Sistemas Dinámicos del Departamento de Física de la UPN considera que se debe tener en cuenta que en este pensamiento (sistémico) se privilegia la construcción de conocimiento en red; es decir –a diferencia de la enseñanza tradicional desde la cual se privilegian las relaciones lineales en el proceso de aprendizaje y se admite la fragmentación del conocimiento haciéndolo acumulativo y secuencial–, bajo la mirada sistémica se plantea que existen diferentes rutas de exploración frente al estudio de un evento, por ejemplo físico, de tal forma que no existen verdades establecidas; cognitivamente se establecen relaciones de causalidad no lineal, que hacen de los procesos de aprendizaje procesos dinámicos, donde la causalidad circular, los procesos autopoieticos y las emergencias se constituyen en factores prioritarios.

Esta postura epistemológica nos conduce a reconocer también una transformación en la manera de asumir los problemas de la enseñanza de las ciencias, en particular de la física, y nos coloca ante un reto de transformación de nuestras prácticas docentes, al exigirnos no solo el trabajo alrededor de nuevos problemas de conocimiento del mundo de la física, sino contribuir a la construcción de nuevas formas de trabajo escolar en que la producción de conocimiento en el aula contemple las características del pensamiento sistémico.

Metodología

El trabajo en el aula se basa en la organización de la clase en torno a Actividades Totalidad Abiertas (ATA) (Segura y otros, 1995). Estas actividades permiten cumplir con: 1) Coherencia conceptual: la manera como se articulan los conocimientos que se construyen con los conocimientos anteriores que poseen los estudiantes (problema epistemológico); 2) Coherencia lógica: la selección de los temas que se tratan y la determinación de su profundidad, en cuanto esta debe corresponder, entre otros, al desarrollo intelectual del estudiante (posibilidades de comprensión-elaboración de discurso, problema lógico), y 3) Coherencia en el formato de la actividad: la selección de los temas o problemas que se resuelven en la clase, en cuanto la actitud de los estudiantes frente a ellos (relaciones de apropiación-rechazo, por ejemplo) son determinantes para la captura del interés por lo que se hace (problema de pertinencia).

En esta forma de trabajo se distinguen cuatro momentos: el punto de partida de la actividad, la generalización del interés, la aproximación discursiva a la solución, y el trabajo experimental (Segura y otros, 1995).

Estudio de la caída del paracaídas

La caída de los cuerpos constituye uno de los eventos físicos de gran importancia por las siguientes razones:

- Es un evento cercano para la mayoría de las personas, en particular los estudiantes que han abordado un curso de física (en la educación media o cursos introductorios de mecánica en la universidad) o para aquellas personas que optan por la licenciatura en Física como profesión.
- La descripción de las ecuaciones de movimiento y la identificación del modelo matemático sobre el evento físico, permiten poner en conocimiento de estudiantes y maestros los enfoques analítico, cualitativo y numérico. El primero es el tradicionalmente utilizado en las clases de física, el segundo se describe cualitativamente a nivel geométrico y el tercero podemos utilizarlo para describir el evento usando la computadora o la calculadora graficadora.
- El trabajo nos permite allegar elementos para mostrar y demostrar la manera como los estudiantes se enfrentan a situaciones del mundo físico desde la perspectiva de los Sistemas Dinámicos y dimensionar



Cándido Castro
INTROSPECCIÓN VI
Técnica: litografía / manufacturado
Dimensiones: 50 x 40 cm

nuevos aspectos para configurar la propuesta pedagógica.

A continuación exponemos la vivencia adelantada con los estudiantes de la Institución Educativa Distrital (IED) Francisco Miranda durante el segundo semestre de 2004 (45 estudiantes) y durante el primer semestre de 2005 (43 estudiantes), con grados 7° de la educación básica secundaria. Con los dos grupos el trabajo se realizó a partir de las mismas actividades.

El lanzamiento del paracaídas se hizo a campo abierto, es decir en un parque donde (para los estudiantes) el parámetro más importante que podemos controlar es la altura desde la cual se lanza el paracaídas.

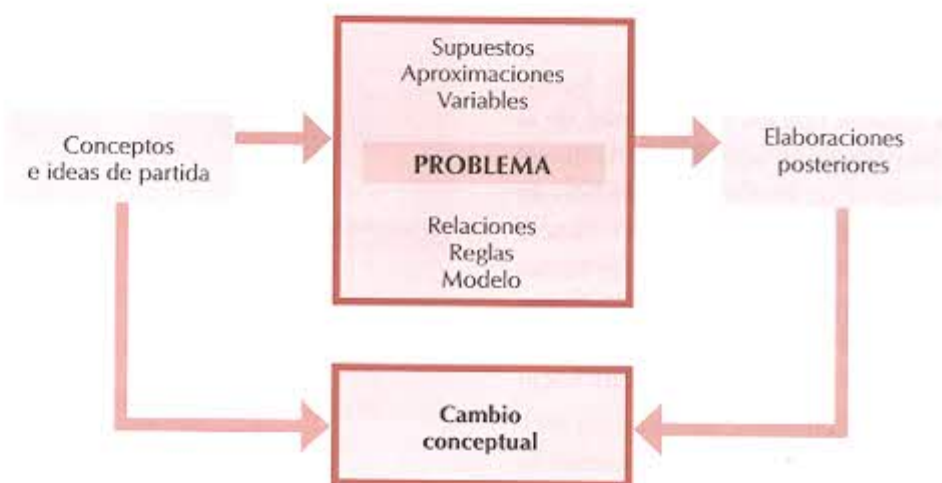
Se conformaron grupos de trabajo, cada uno con cinco estudiantes. La actividad se desarrolló en los siguientes momentos:

- a) Construcción y familiarización con el paracaídas.
- b) Toma de datos a partir de las observaciones de la caída del paracaídas.
- c) Planteamiento de hipótesis e identificación de los factores que influyen en la caída del

paracaídas, por grupos. d) Socialización y discusión de los trabajos desarrollados por los grupos. e) Discusión de las hipótesis a partir de la información dada por los libros o el profesor. f) Socialización y discusión de los trabajos a partir de los conceptos expuestos en la información científica, textos, enciclopedias y maestro. g) Socialización y discusión de los trabajos a partir de los conceptos construidos por los estudiantes. h) Trabajo de modelación en los computadores.

Seguimiento de la actividad

Se le hace seguimiento a la manera como abordan y explican los estudiantes, en donde se observa cómo organizan y estructuran su pensamiento para resolver una situación problemática, así como los aspectos que identifican y los elementos que utilizan al momento de explicar un fenómeno físico. Esto posibilita al profesor saber si los estudiantes están abordando los problemas desde una mirada sistémica, lo cual podemos esquematizar en el siguiente gráfico:



Los aspectos nombrados se refieren a lo siguiente:

Conceptos e ideas de partida: se trata de establecer cuáles son los conocimientos que tienen los estudiantes antes de iniciar el estudio de la caída del paracaídas. El propósito es establecer el punto cognitivo de partida de los estudiantes respecto al problema de la caída de los cuerpos.

Supuestos: en relación con este punto es importante establecer si el alumno cree que los fenómenos obedecen a reglas o leyes ocultas que regularizan el comportamien-

to de estos o si, por el contrario, no obedecen a ningún tipo de leyes o reglas, y por lo tanto su comportamiento es azaroso y arbitrario. También se estudia el tipo de hipótesis y conjeturas que el estudiante plantea en relación con el problema y las restricciones que establece para su análisis.

Aproximaciones: se trata de evidenciar todas las aproximaciones que el alumno realiza en el estudio de la caída. Por ejemplo, la masa se aproxima a una forma redonda y se asume como una esfera perfecta, en las cuerdas se desprecia la masa, se toman tiempos de una cifra, etc.

Variables: se busca determinar todos los factores que el estudiante considera que influyen en la caída de los cuerpos y la manera en que cada uno de estos factores afecta la caída, en este caso, del paracaídas. En el estudio no se discriminó entre variables y parámetros.

Relaciones entre las variables: la intención es saber cómo el alumno establece la manera en que una variable afecta a la otra, y cómo esto en términos globales explica ciertos comportamientos en la caída de los cuerpos. A la vez, cómo se interrelacionan las variables que afectan la caída del paracaídas.

Reglas subyacentes al problema: se trata de hacer explícita la regla que determina el comportamiento de la caída del paracaídas teniendo en cuenta todos los factores que influyen en la caída. En últimas, se pretende saber si el alumno propone un modelo cualitativo del problema.

Propuesta de modelo cuantitativo: se pretende conocer si el alumno está en capacidad de construir en lenguaje matemático el fenómeno, es decir, plantear una fórmula matemática que se acomode a los datos que se registraron de las observaciones hechas durante la caída del paracaídas.

Interpretación de los resultados del modelo hecho en computador: se trata de que los participantes de la actividad: estudiantes y maestros, se percaten de que el modelo de computador es un modelo simplificado de la caída no libre del paracaídas y que, de igual manera que ellos establecen una serie de supuestos y aproximaciones, el modelo por computador refleja las relaciones que los propios estudiantes proponen entre variables y parámetros, es decir que el computador permite hacer cálculos más rápidos.

Desarrollo de la actividad

La toma de datos por los estudiantes por lo general se hace casi de manera indiscriminada, no tienen un procedimiento sistemático para recoger la información. Por tal razón, en la experiencia con los paracaídas hubo lanzamientos desde una misma altura y de un solo paracaídas, y a partir de esta información se empezaban a extraer conclusiones. Otros grupos, después de muchos ensayos, tenían en cuenta el tiempo máximo de la caída del paracaídas; suponían que este es el tiempo que representaba la caída perfecta del paracaídas, y que desde este tiempo sí es posible hacer afirmaciones. En

el mejor de los casos se tomaron muchos datos para saber entre qué valores estaba oscilando el tiempo de caída y poder hacer un promedio.

De acuerdo con las observaciones y el tipo de datos que se seleccionaron entre todas las mediciones realizadas durante la caída del paracaídas, es evidente que se parte del supuesto de que los fenómenos ocultan un orden que puede ser desentrañado. Esto se pudo observar en la manera de privilegiar los datos en las mediciones, pues escogían los que se acomodaban más a un comportamiento regular. La experiencia fue mucho más convincente cuando se les propuso a los alumnos que realizaran en sus casas varias observaciones de la caída del paracaídas desde diferentes alturas. De acuerdo con los datos y las conversaciones adelantadas con los estudiantes, ellos realizaron dos o tres lanzamientos del paracaídas a diferentes alturas, y a partir de estos establecieron el tiempo de caída para otras alturas. Como muestran las tablas, todos los grupos regularizaron el tiempo de la caída.

Tabla 1

Altura/metros	Tiempo (seg)
2	1
4	3
6	6
8	9
10	13

Tabla 2

Altura/metros	Tiempo (seg)
4	15
6	25
7	
8	35
10	45

Tabla 3

Altura/metros	Tiempo (seg)
2	4
4	8
6	12
8	16
10	20

Tabla 4

Altura/metros	Tiempo (seg)
2	7
4	14
6	19
8	25
10	30

En el caso de las mediciones realizadas, se presenta la situación en la cual lo prioritario es poder establecer el tiempo de caída, bajo el supuesto de que el tiempo real se da cuando el paracaídas tiene un comportamiento regular, o que es el tiempo que se presenta con mayor frecuencia durante todos los lanzamientos. En esta parte se les propuso que aproximaran el valor de la masa de la plastilina (el peso de cada barra estaba especificado en la caja) e hicieran diez lanzamientos con un mismo paracaídas, y por último establecieran el tiempo de caída. Los datos registrados y la selección del tiempo medido de caída según los alumnos, se muestran en las siguientes tablas:

Radio orificio central: 1 centímetro
 Altura desde la cual se lanza el paracaídas
 Peso: 2,5 gramos

Tiempo (seg)	Observación de la caída
2,47	verticalmente
3,50	verticalmente
3,25	diagonalmente
3,75	diagonalmente
2,75	diagonalmente
4,32	diagonalmente
4,04	verticalmente
2,97	verticalmente
3,90	verticalmente
3,74	verticalmente

Con los datos de esta tabla, los alumnos creen que el tiempo real de la caída se obtiene sacando un promedio con los tiempos que tienen como parte entera el tres; además es el tiempo que se presenta con mayor frecuencia y su comportamiento de caída por lo general es vertical.

Tiempo (seg)	Observaciones de la caída
2,47	verticalmente
3,50	verticalmente
3,25	diagonalmente
3,75	diagonalmente
2,75	diagonalmente
4,32	diagonalmente
4,04	verticalmente
2,97	verticalmente
3,90	verticalmente
3,74	verticalmente

Radio orificio central: 2 centímetros
 Altura desde la cual se lanza el paracaídas:
 5,74 metros
 Peso: 6,2 gramos

Tiempo	Observaciones
4,09	Hizo una curva hacia derecha e izquierda
3,59	Bajó en movimiento circular
2,81	Bajó en movimiento diagonal izquierdo
3,37	Bajó normal con movimiento vertical
2,50	Movimiento en vaivén
2,69	Bajó en movimiento diagonal izquierdo
3,63	Movimiento circular diagonal derecho
3,78	Movimiento circular diagonal derecho
3,22	Bajó en movimiento circular
3,47	Movimiento circular diagonal derecho

Al igual que en la tabla anterior, los estudiantes tienen la tendencia a irse por los datos que regularizan de alguna manera el fenómeno de la caída del paracaídas.

Es interesante observar cómo los alumnos identifican todos los factores que consideran relevantes para describir el evento de la caída del paracaídas. Pero sobre todo la capacidad para identificar la jerarquía que existe entre los factores que influyen en la caída. En este sentido los dos grupos con que trabajamos de manera independiente coincidieron en que los factores que influyen en la caída, en orden de importancia, son: el aire, el peso, el área del paracaídas, el radio del orificio del paracaídas, la gravedad, el viento, el material del paracaídas, las cuerdas y la altura. Consideran que estos factores son los responsables del tiempo de caída, la dirección en que se mueve el paracaídas y la armonía con que cae. En este sentido, podemos decir que la característica del pensamiento sistémico denominada pensamiento interrelacionado, que anotábamos anteriormente, se evidencia casi en la totalidad de los estudiantes.

En este orden de la investigación se pudo observar que los alumnos determinan la manera en que cada uno de los factores influye en la caída, y logran determinar cuáles son los efectos que producen. Por ejemplo, uno de los grupos plantea lo siguiente:

Entre más peso más atrae el piso al paracaídas. Las corrientes de aire influyen en la dirección del paracaídas (lo mueven horizontalmente). Si el paracaídas no tuviera el muñequito, el paracaídas se elevaría. Entre más grande sea el diámetro del paracaídas, más rápido caerá. Cuando hay escaso aire, el paracaídas cae más rápido.

Este grupo enfatiza mucho la rapidez, entendida como el tiempo que el paracaídas se demora en caer desde el momento en que se lanza desde una determinada altura hasta cuando toca el piso. Esto se puede afirmar puesto que cuando se les preguntó si la velocidad cambia durante la caída del paracaídas, prácticamente no se percataron de esta situación, ni la tuvieron en cuenta. Por eso, para este caso, rapidez es sinónimo de tiempo de caída.

En cambio otros grupos se concentraron en el concepto de velocidad. Frente a la explicación de los efectos de los factores que influyen en la caída del paracaídas, uno de los grupos respondió:

Si hay menor viento, cae con mayor velocidad. La masa también influye en la velocidad del paracaídas.

das; entre menos peso, la velocidad del paracaídas es mayor. Entre más grande sea la superficie del paracaídas, la velocidad de caída es menor.

La razón por la cual se sabe que estos alumnos no están confundiendo la velocidad del paracaídas con el tiempo de caída, es porque frente a la pregunta ¿hay cosas que cambian durante la caída del paracaídas desde el momento en que se suelta?, el grupo respondió: *"La velocidad y la posición cambian, la longitud queda igual"*. Como se puede ver en los comentarios de los estudiantes, existe un trabajo en la dirección de construir explicaciones de carácter no lineal. Es decir, al plantear varias causas para un mismo efecto, y al proponer incluso que algunos efectos son nuevamente causa para que el paracaídas caiga de una determinada forma o con una cierta velocidad, estamos fortaleciendo el pensamiento por interacciones, base fundamental del pensamiento sistémico.

También se puede ver cómo algunos grupos, manejando el pensamiento dinámico, plantean anticipaciones al proceso dinámico de la caída no libre del paracaídas. Cuando se tiene elaborado un modelo, esta característica se hace cada vez más explícita.

Primeras aproximaciones en las relaciones que existen entre los factores (variables) que influyen en la caída del paracaídas

Otros grupos tratan de establecer los efectos que producen dos factores simultáneamente, y tratan de vislumbrar las primeras explicaciones de la caída de los cuerpos. Sobre este aspecto podemos observar lo que plantea el siguiente grupo:

El paracaídas cae más rápido cuando la longitud de las cuerdas es mayor que el diámetro del mismo, además de tener un peso pequeño. Cuando el hueco es pequeño, el aire se filtra y por lo tanto el paracaídas se puede mantener más tiempo en el aire. Si no hay aire, el paracaídas cae más rápidamente.

Sin embargo, las explicaciones, por lo menos en este grupo, tuvieron un nivel "superficial" de razonamiento. Esto no implica que los alumnos estén imposibilitados cognitivamente para abordar y dar mejores explicaciones sobre estos aspectos, sino que cuando se interrelacionan dos o más factores, es mucho más difícil analizar el comportamiento en conjunto.

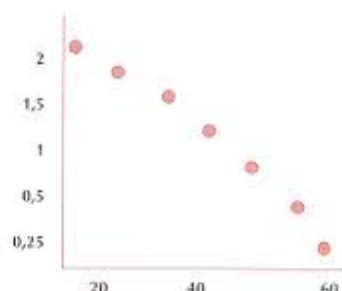
La mayoría de estudiantes consideran que el problema de la irregularidad de los datos del tiempo de caída (que no tengan exactamente el mismo valor) radica en la influencia del viento, pues este es el factor que más afecta el comportamiento regular de la caída del paracaídas. En este caso y en el sentido de dar cuenta de la cuarta característica que hemos denominado pensamiento dirigido, es evidente que en los múltiples experimentos mentales que elaboran los estudiantes se expresa la necesidad de manipular el contexto y cada una de las variables que hacen posible el fenómeno estudiado; por ejemplo, si se suprime el aire, se controla el movimiento.

Uso del computador en el estudio de la caída

El trabajo del computador en el espacio de clase, en relación con la caída de los cuerpos, tiene como propósito lograr que los alumnos puedan hacer interpretaciones de los resultados a partir de las gráficas que se generan de un modelo simplificado de la caída de los cuerpos. Es un momento de conceptualización por parte del profesor con el fin que los alumnos unifiquen sus nociones sobre posición, velocidad, aceleración, fuerza, etc., y encuentren ejemplos de cómo estos conceptos se relacionan para describir el comportamiento de la caída de los cuerpos, dadas ciertas condiciones, haciendo tales suposiciones e identificando las variables y parámetros más importantes para la descripción. Un poco como ellos han venido trabajando, pero de una manera más sistemática.

Al respecto de este trabajo, veamos una de las impresiones que manifestaron los alumnos de un grupo:

El programa Excel lo utilizamos para sacar unas fórmulas sobre la caída del paracaídas. Este programa nos sirvió para hallar el tiempo que demoraba en caer el paracaídas. Este tiempo se dio al escribir algunos tiempos que eran de 0 a 45 segundos. Después escribimos unas fórmulas para averiguar el tiempo de cada caída, tenía que dar un número que empezaba por cero. Para sacar estas fórmulas debíamos escribir lo siguiente: $B1 = 0,009 \times A2$. Al escribir esto sacábamos resultados, aunque no teníamos que escribir solo un número sino varios números. El resultado de esta fórmula fue 0,25. Nosotros creemos que se relaciona con la altura.



En la gráfica se observa cómo cae el paracaídas y cuánto tiempo demora en caer.

del paracaídas. Se concibe que lo establecido por las fórmulas o modelos de los textos o por el maestro es lo que sucede en realidad con los fenómenos. A veces da la impresión que sus intuiciones y experiencias personales frente a estos eventos quedan completamente nubladas cuando se los coloca frente a un modelo o una explicación que representa una autoridad y que tiende a ser regular o predecible.

La relación que se establece en la investigación entre el alumno, el problema y el profesor se ilustra en la gráfica.



Conclusiones

- En el pensamiento sistémico, la metáfora del conocimiento como construcción de un edificio queda reemplazada por la de red. Al percibir la realidad como una red de relaciones, nuestras descripciones forman también una red interconectada de conceptos y modelos en la que NO existen cimientos. Por ejemplo, en el estudio de la caída adelantado en el proceso investigativo, se muestran conexiones múltiples con su entorno. Sin embargo, no importa cuántas conexiones tomemos en consideración para describir el fenómeno, siempre estaremos obligados a excluir otras. Además, para el caso de la enseñanza de la Física, nos permiten mostrar que si se parte de una situación abierta, los estudiantes identificarán el sistema, los parámetros con los cuales van a plantear la(s) ecuación(es) de movimiento y su modelar físico. En este sentido, se logra fortalecer los rasgos del pensamiento sistémico, lo cual se observa, no solo por la capacidad de modelar, es decir, de armar sus propias relaciones entre variables y parámetros, o por llevarlas al computador para obtener gráficas, sino por la posibilidad de anticipar la dinámica del sistema.

La vivencia nos posibilita ubicar que las diversas maneras de pensar el evento por parte de los estudiantes, las múltiples formas de abordarlo y las consideraciones que realizan de acuerdo con la situación que eligen, enriquecen su pensamiento y les permiten vivir el estudio, por ejemplo, de la caída de los cuerpos y darse cuenta que es posible aprender de formas alternativas, y comprender la actividad de modelar.

- El sistema educativo tradicional ha imposibilitado el razonamiento lógico, la creatividad y la confianza de los estudiantes para proponer sus propias explicaciones en el estudio de los fenómenos naturales, en particular de los fenómenos físicos; pero si se genera un ambiente pedagógico adecuado de aprendizaje, tal y como se planteó con la metodología de las Actividades Totalidad Abiertas (ATA), es posible que los estudiantes aprendan a pensar de manera global, holística y sistémica. Es decir, donde puedan establecer suposiciones, relaciones y modelos, desde la mirada al sistema, sus interacciones, dinámica del proceso, identificación de condiciones, variables y parámetros al describir y modelar el evento físico.

Podemos decir que las situaciones que llevan al sujeto a la construcción de conocimiento, vinculan una realidad que es construida por él en su interacción con el mundo exterior, lo cual une las situaciones de nuestro entorno con la intrínseca del sujeto que conoce y construye a partir del modo de concebir, que lo lleva a una explicación de los fenómenos físicos (Prigogine, 1996; Capra, 1998).

Por otra parte, teniendo en cuenta que el estudiante se encuentra en un ámbito social, el maestro debe ser capaz de diferenciar la información del conocimiento, para poder proponer actividades que integren tanto al sujeto como sus problemas y así crear un deseo o una intención por parte del sujeto que accede a una información, la cual debe ser orientada por el maestro para la pertinencia del trabajo (Segura, 2002). ■

Referencias

- BLANCHARD, P. y otros. 1999. *Ecuaciones diferenciales*. México: Thomson Editores.
- BERTALANFFY, L. 1986. *Teoría general de sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México: Fondo de Cultura Económica.
- CAPRA, F. 1998. *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona: Editorial Anagrama.
- GARCÍA, M. 1990. "Reflexiones sobre pensamiento sistémico y organizaciones inteligentes - Peter Senge". Cátedra: Teoría de Sistemas en Desarrollo Organizacional, Universidad del Valle de Atemajac, Guadalajara, México.
- http://sunwc.cepade.es/~jrivera/bases_teor/sys_teor/sys_thinking/systems_thinking.htm.
- OSSIMITZ, G. 1994. *Systemdynamiksoftware und Mathematikunterricht. Endbericht zum gleichnamigen Projekt*. Universität Klagenfurt.
- PRIGOGINE, I. 1996. *El fin de la ciencia*. Madrid: Cátedra.
- SEGURA, D. 2002. "Información y conocimiento. Una diferencia enriquecedora". Revista *Museolúdica*. No. 9, Vol. 5. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- SEGURA, D. y otros (1995). *Vivencias de conocimiento y cambio cultural*. Colección Polémica Educativa. Bogotá: Escuela Pedagógica Experimental - Colciencias.
- SENGE, P. (1990). *La quinta disciplina*. Editorial Granica.

Diálogo del conocimiento

No puedes solucionar el problema con el mismo nivel de pensamiento que lo creó.

Albert Einstein

El tener la posibilidad en el aula de interactuar de manera diferente ante los fenómenos que se analizan, pasando de ver un todo formado por partes a un pensamiento holístico de subsistemas relacionados entre sí, dinamiza y profundiza el proceso de enseñanza-aprendizaje. Cuando se propone un "Pensamiento sistémico en el aula", se invita a reflexionar sobre diferentes alternativas de pensamiento, en las cuales entran en juego la interrelación y la dinámica de moverse a través de los fenómenos recorriéndolos en diferentes direcciones, complementados con predicciones y direccionados siempre hacia una meta.

La propuesta no solo se encamina hacia un cambio metodológico en el aula sino que la lleva hacia una dimensión vivencial, sustentada teóricamente a partir de la exposición que hace Capra en su teoría, con unas características específicas de análisis total, focalización y contextualización. Lo interesante es que los autores de este artículo no se quedan en el qué, sino que nos dan una herramienta metodológica para el cómo con la utilización de las ATA, en donde proporcionan un mapa con una serie de señales que permiten llegar a la consecución del objetivo propuesto. En consecuencia, desde esta perspectiva sistémica y hermenéutica se hace posible ver el conocimiento ya no como un fin predeterminado por alguien, como lo plantea el esquema tradicional, sino que el conocimiento puede tener diversos fines de acuerdo con la forma como los involucrados en el proceso lo vean, produciendo una rica variedad interpretativa.

Por último, y siendo consecuentes con lo expuesto, se plasma lo expresado con el ejemplo, donde se muestra de manera implícita y explícita cómo se debe conducir el pensamiento sistémico en el aula: se deja entrever la necesidad de modificar la composición temática de las ciencias, particularmente de la física, con el desarrollo de los contenidos desde unidades específicas a grupos temáticos, lo cual ayuda a analizar de manera integral lo estudiado, permitiendo identificar y comprender con mayor claridad y profundidad los problemas o situaciones analizadas. Esto en la práctica no es sencillo, pues se requiere tener un conocimiento más íntegro de lo que conformaría el sistema y pasar de un pensamiento lineal a un pensamiento en red, lo cual obliga a una profunda interacción entre el sujeto y el objeto, pero se tendrá la satisfacción de una mejor comprensión de lo estudiado, y una mayor posibilidad de explicar, manipular, predecir y encontrar respuestas, con un dominio sobre la dispersión del pensamiento y los cambios que se quieran realizar o se produzcan en el "juego" del análisis sistémico.

Javier Fernando Romero Acosta