

Ventajas del empleo de la dinámica de sistemas en el proceso de enseñanza–aprendizaje de los fenómenos físicos

AUTORES: César Mesa Navarro¹

José Raúl Díaz López²

Claudio Mario Enrique³

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: cesar1956mes@gmail.com

Fecha de recepción: 15-05-2021

Fecha de aceptación: 16-07-2021

RESUMEN

Los problemas en el aprendizaje de la Física General que manifiestan alumnos de las carreras de ingeniería en nuestras universidades, relacionado con la formación del cuadro físico-conceptual del mundo, influyen negativamente en el sistema de competencias y habilidades profesionales del futuro graduado. Para contribuir a disminuir el impacto negativo de este fenómeno se requiere un nuevo patrón de aprendizaje basado en un enfoque más constructivista y participativo de los alumnos para lo cual, los principios del pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas, sintetizados estos dos últimos en el llamado “enfoque de procesos”, constituyen valiosos auxiliares. Desde las perspectivas sistémica y dinámica con que se aborda esta problemática, en el proceso de aprendizaje se desarrolla la relación dialéctica entre el objeto de estudio y los modelos mentales en los alumnos, los cuales se convierten en construcciones teóricas compartidas en forma de modelos conceptuales, leyes, teorías y principios, como resultado de procesos de conceptualización y formalización, de manera que durante el aprendizaje, el alumno construye y reconstruye recursivamente sus modelos mentales, conceptuales y formales de la realidad física que se le presenta, empleando los recursos de las sistematizaciones teóricas y experimentales que constituyen el contenido de la Física General, instituyéndose la modelización en el proceso más trascendente.

PALABRAS CLAVE: Dinámica de aprendizaje de la Física modelando; Dinámica de Sistemas; modelos mentales; relación razón-intuición.

Advantages of the use of systems dynamics in the teaching-learning process of physical phenomena

ABSTRACT

Problems in the learning of General Physics that engineering students at our universities present, related to the formation of the physical-conceptual picture of the world, which has a negative

¹ Licenciado en Educación, Especialidad de Física, Profesor Auxiliar, Máster en Ciencias de la Educación Superior, Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba. ORCID 0000-0002-5562-6559

² Licenciado en Física, Profesor Titular, Profesor Consultante, Doctor en Ciencias Técnicas, Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba. E-mail: jrdiaz49@nauta.cu ORCID 0000-0002-4258-5372

³ Licenciado, Magister, Asesor del Centro de Investigación en Dinámica de Sistemas, UDN Física, Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional. Santa Fe, Argentina. E-mail: cenrique@frsf.utn.edu.ar

impact on the entire system of professional competencies and skills of the future graduate. To help reduce the negative impact of this phenomenon, a new learning pattern based on a more constructivist and participatory approach of the students is required, for which the principles of systemic thinking and system dynamics, synthesized these last two in the so-called “process approach”, they are valuable auxiliaries. From the systemic and dynamic perspectives with which this problem is approached, in the learning process the dialectical relationship between the object of study and the mental models in students develops, which become shared theoretical constructions in the form of conceptual models, laws, theories and principles, as a result of conceptualization and formalization processes, so that during learning, the student recursively constructs and reconstructs mental, conceptual and formal models of the physical reality that is presented to him, using the resources of the theoretical and experimental systematizations that constitute the content of General Physics, instituting modeling in the most transcendent process.

KEYWORDS: Learning dynamics of Physics modeling; Dynamic of Systems; mental models; Reason-Intuition relationship.

INTRODUCCIÓN

Los principios del pensamiento sistémico, cuyo núcleo fundamental se encuentra en la Teoría General de Sistemas (Bertalanfy, 1968) y la Dinámica de Sistemas (Forrester, 1961), han experimentado una rápida difusión, en los últimos años, hacia muchas ramas de la ciencia. El quehacer científico, tecnológico, empresarial, docente y muchos otros, introducen actualmente términos tales como: sistema, enfoque de sistemas, dinámica de sistemas, teoría de sistemas, sistémica, pensamiento sistémico y otros; existiendo una significativa cantidad de literatura científica que refleja la producción en esta temática; así como sociedades de intercambio de experiencias entre científicos y docentes que dan cuenta de los avances en las más variadas facetas de la gestión de procesos.

La idea central de la concepción didáctica que se propone, se sustenta en la perspectiva constructivista del aprendizaje y la introducción del enfoque sistémico y su método: la “Dinámica de Sistemas”, como elementos que pueden contribuir al desarrollo de su relación hacia niveles de profundidad cada vez más efectivos en la comprensión del objeto físico, a través de la modelización y simulación de los fenómenos y procesos de estudio. Además, en uno de los elementos esenciales del llamado pensamiento basado en procesos, como lo señalan (Emblemsvoeg, 2000); (Díaz y Mesa, 2017), constituyéndose en una metodología idónea para la representación y descripción de los fenómenos físicos en que se producen transformaciones del estado de los sistemas. Estas transformaciones son el contenido esencial de los procesos. Por esto es común hablar de “procesos físicos”, tal como la caída de un cuerpo en el campo gravitatorio terrestre o la generación y propagación de oscilaciones y ondas electromagnéticas.

Previamente, es conveniente precisar los dos términos que aparecen en el método; comenzaremos por “sistema”, que se deriva del verbo griego “*sunistánai*”, que significa originalmente “causar una unión”. Si bien en la actualidad se emplea con mucha frecuencia, tiene distintas acepciones. Para los fines de este artículo es asumido como una entidad dotada de cierta complejidad, formado por partes coordinadas, de modo que el conjunto posea una unidad - que es precisamente el sistema. Por ejemplo, el sistema solar formado por los planetas y el sol unidos mediante las fuerzas gravitatorias; un sistema ecológico formado por diferentes poblaciones relacionadas por cadenas

alimentarias o vínculos de cooperación; o de un sistema económico formado por agentes económicos relacionados entre sí por el intercambio de bienes y servicios.

Por lo tanto, un sistema es entendido como una unidad cuyos elementos interactúan juntos, afectándose continuamente unos a otros, operando hacia una meta común. Es algo que se percibe como una identidad que lo distingue de lo que lo rodea, y que es capaz de mantener esa identidad a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes.

De casi todo lo que nos rodea se puede decir que es un sistema. Sin embargo, la consideración de que todo está relacionado en la realidad puede “pecar” de excesivamente etérea, y resultar poco operativa. Por ello, lo que interesa es concentrarse en *ciertos aspectos* de la realidad a los que se considerará como sistema.

Nos ocuparemos de la clase de sistema caracterizado por el hecho de que podemos especificar los elementos que lo forman, y las relaciones entre estas partes mediante las que se articulan en la correspondiente unidad. A esta descripción elemental le asociaremos la imagen de un grafo, que aporta una descripción de la naturaleza estructural del sistema, y que representa su *estructura*. Más adelante se verá cómo realizar esta descripción.

Por otro lado, “*dinámica*”; expresa el carácter cambiante en el tiempo de ciertas características del sistema. A lo que cambia se le asocia una imagen o gráfica que muestra la trayectoria de una magnitud. Al hablar de la dinámica de un sistema nos referimos a que las distintas variables que podemos asociar a sus partes sufren cambios a lo largo del tiempo como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellas. Su comportamiento vendrá dado por el conjunto de las trayectorias de todas las variables, que suministra algo así como una “narración” de lo acaecido al sistema. Por otro lado, el término dinámico tiene una connotación no sólo de cambio, sino también de la “fuerza” o determinación que lo genera.

Por tanto, se asume la Dinámica de Sistemas como una disciplina académica creada durante la década del '60 por Jay Forrester, del Massachusetts Institute of Technology (MIT), y que es considerada la herramienta funcional del Pensamiento Sistémico. Si bien sus raíces originales fueron los sistemas ingenieriles y gerenciales, en la actualidad se ha convertido en una herramienta utilizada para el análisis de sistemas de cualquier tipo.

El Pensamiento Sistémico surge durante el siglo XX como alternativa al Pensamiento Científico, y es una disciplina que permite ver *totalidades*. “*Es un marco para ver interrelaciones en vez de cosas, para ver patrones de cambio en vez de “instantáneas estáticas”*” (Senge, 1998).

Este tipo de pensamiento se opone al reduccionismo, el cual considera buscar soluciones sencillas para problemas complejos sosteniendo la idea de que, para estudiar a un sistema, simplemente lo hace a través de la suma de sus partes.

Esta oposición comienza por definir a un sistema como un conjunto de elementos relacionados entre sí, cuya existencia y funciones se mantienen como un todo por la interacción entre sus partes. Abarca una amplia y heterogénea variedad de métodos en donde se contempla el todo y las partes, así como también las conexiones entre las partes. En resumen, estudia el todo para comprender las partes.

Otra de las características del Pensamiento Sistémico que lo diferencia del Pensamiento Científico es un cambio en las cosmovisiones. Para el último, la realidad se presenta de manera lineal, tan característico de la estructura sujeto–verbo–objeto proveniente de las lenguas occidentales;

mientras que el primero se trata de un pensamiento *en círculos o bucles de retroalimentación*. “*Para la ciencia clásica, todo efecto es el resultado de una causa que lo precede. La causalidad es, entonces, un proceso lineal. En el área del conocimiento se transforma la visión del universo, puesto que desaparece la certidumbre en un vínculo lineal, reemplazado por una causalidad circular, en la cual tanto la causa precede al efecto como el efecto a la causa. En ese sentido, el Premio Nobel de Química, Ilya Prigogine, proclama el fin de las certezas*”. (Goldenberg y Cafferatta, 2001).

La Dinámica de Sistemas, por su parte, tiene su origen en el llamado enfoque de sistemas, que se caracteriza por:

1. Holismo (Conexiones entre las partes que constituyen el todo como unidad)
2. Teoría de los Servomecanismos (Modelación y control)
3. Principios de la Cibernética (La información es estadística)
4. Circularidad a través del concepto de retroalimentación, (bucle, o “feed – back)
5. Pensamiento Analógico (Estructuras Genéricas).

O sea, opera con conceptos del campo del control retroalimentado para organizar información en un modelo de simulación por computadora. Dicha simulación revela el comportamiento del sistema representado por el modelo. “*La Dinámica de Sistemas es una metodología de apoyo para pensar problemas en términos de sistemas. El objetivo es pensar acerca de sistemas complejos, en los cuales hay partes componentes e interacciones entre ellas. Para ello se emplea un modelo computacional que pone de manifiesto las relaciones entre la estructura o grafo del sistema y su comportamiento*” (Aracil y Gordillo, 1997).

La metodología de la Dinámica de Sistemas hace uso de conceptos intuitivos de la representación de sistemas, y puede asociarse con las técnicas de mapas conceptuales usados en el proceso de enseñanza–aprendizaje. Los mapas conceptuales también son grafos, pero las relaciones se establecen para un fin organizativo, y no operativo.

DESARROLLO

I. Un cambio de paradigma

Tal como se mencionó anteriormente, el Pensamiento Sistémico es una alternativa al Pensamiento Científico que surge durante el siglo XX y tiene el objetivo de resolver problemas hasta el momento inconclusos o con soluciones inadecuadas o erróneas, sobre todo durante el mediano y/o largo plazo.

Lo que ocurre se debe a lo que se conoce como cambio de Paradigma. Pero ¿qué significa esto? Etimológicamente, Paradigma se asume como “mostrar de cerca” o “ejemplificar”. En el presente, se utiliza en el sentido de que se trata de los conocimientos, habilidades, actitudes y prácticas que comparten los miembros de una comunidad científica determinada.

Lo que constituye una comunidad científica es la posesión de un paradigma común, que a su vez está conformada por personas que son diferentes en sus demás aspectos.

El paradigma en el que han confiado las ciencias duras (y en consecuencia las ciencias sociales también) en el mundo occidental se basa en las ideas de dos de las grandes figuras del siglo XVII: René Descartes e Isaac Newton.

Por una parte, y gracias a Descartes, el paradigma dominante en nuestra forma de comprender el mundo se apoya en la certeza de los conocimientos científicos:

“Toda la ciencia es sabiduría cierta y evidente. Rechazamos todos los conocimientos que sólo son probables y establecemos que no debe darse asentamiento sino a los que son perfectamente conocidos y de los que no cabe dudar.” (citado en Garber, 1978)

René Descartes desarrolló un método de razonamiento analítico para evidenciar la certeza de las ciencias: los problemas se dividen en cuantas partes es posible y luego se ordenan en forma lógica. Para él la naturaleza funciona de acuerdo a las leyes mecánicas; y el mundo puede explicarse en términos de la disposición y el movimiento de sus partes.

Posteriormente, Isaac Newton consideró que todos los fenómenos físicos ocurren en un espacio tridimensional de la geometría clásica euclidiana, el cual es un espacio absoluto, sin relación a nada externo. El tiempo es también absoluto (fluye unidireccionalmente de pasado a presente y a futuro), y las partículas de materia (todas hechas de la misma materia) son objetos pequeños, sólidos e indestructibles que se mueven dentro de ese espacio y ese tiempo.

Como consecuencia de este Paradigma, en líneas generales, la ciencia es considerada como conocimiento objetivo, libre de valores, y descontextualizado del mundo exterior, basado en los siguientes supuestos:

- La materia se compone de partículas (presupuesto ontológico);
- El universo es un orden natural (principio de identidad);
- El conocimiento y la información pueden abstraerse del mundo natural (presupuesto de la independencia contextual);
- Los problemas pueden analizarse descompuestos en partes manipulables por la matemática (presupuesto metodológico);
- Los datos de los sentidos son elementos de juicio (presupuesto epistemológico).

De manera resumida, se puede decir que los sistemas se estudian a través del Reduccionismo: los fenómenos más complejos pueden reducirse a menos complejos. Dicho de otra manera, “el todo es igual a la suma de sus partes”. Además, la visión del mundo está basada en un determinismo riguroso: todo evento está determinado por las condiciones iniciales, las que, al menos en principio, deben identificarse con precisión.

La evolución del paradigma de la ciencia está asociada a la Física, y comienza con la extraordinaria contribución de Albert Einstein quien por una parte expone la Teoría General de la Relatividad, y por otra se aproxima a la radiación electromagnética desde una perspectiva distinta, estableciendo así las principales características de la teoría de los fenómenos atómicos. Einstein demostró que el tiempo y el espacio no son absolutos y sobre todo después de él, los científicos que continuaron con la Física Cuántica demostraron la naturaleza dual de la materia: la partícula se transforma continuamente en onda y la onda en partícula.

La Teoría Cuántica expone claramente que incluso las partículas subatómicas no tienen ninguna semejanza con los objetos sólidos descritos por la Física Clásica. Los físicos actualmente no describen la “verdad” en términos absolutos, sino que hablan sobre el “principio de incertidumbre”, sobre la “probabilidad de ocurrir”, o sobre la “tendencia a existir”. En la teoría cuántica nunca se llega a una “cosa”. Siempre se trata con *correlaciones* entre “cosas”. La noción de la división en partes se derrumba: en la realidad cuántica, las conexiones ilimitadas son la esencia. Por lo tanto, puede decirse que la visión de mundo y realidad que emerge de la Física Moderna “... se caracteriza por ser orgánica, holística y ecológica. Se la podría llamar una visión de sistemas, en el sentido de la Teoría General de Sistemas.” (Capra, 1998).

Una de las lecciones más importantes de esta nueva forma de percibir la realidad es que todos los conceptos y teorías utilizadas para describir a la naturaleza tienen sus límites. Consecuentemente, las teorías científicas nunca podrán darnos una descripción completa y definitiva de la realidad: siempre serán una aproximación a la verdadera naturaleza de las cosas. Dicho de manera resumida, los científicos sólo podrán describir la realidad de manera limitada y aproximada.

II. El proceso de enseñanza–aprendizaje

“Las disciplinas del aprendizaje suponen las mismas relaciones básicas entre teoría, método y herramientas. En cada una de ellas hay herramientas prácticas que se basan en una teoría y una metodología. En el pensamiento sistémico, la herramienta de los arquetipos sistémicos se basa en una metodología general, desarrollada en el MIT en los últimos cuarenta años, que se llama “dinámica de sistemas” y procura entender cómo la estructura de realimentación de los sistemas complejos genera pautas de conducta.” (Senge et al, 1998).

Anteriormente, se había citado que una de las características del Pensamiento Sistémico es que las acciones se dan de manera *circular*. Este enfoque permite describir la Relación de Influencias del Proceso de Enseñanza–Aprendizaje (RIPE-A) desde otra perspectiva⁴, y como se muestra en la figura 1:

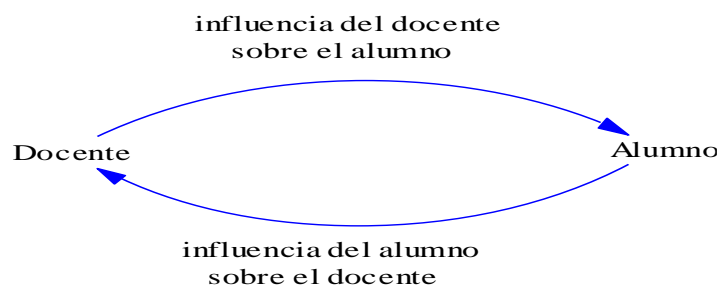


Fig. 1: Relaciones de Influencias del Proceso de Enseñanza–Aprendizaje (RIPE-A)

Las relaciones de influencias pueden ser *positivas* o *negativas*. Esto no significa que sean buenas o malas, sino que expresan si existen cambios en la misma dirección, o en direcciones opuestas entre la variable origen y la variable destino, respectivamente. Si los dos tipos de influencias son *positivas*, existe lo que se denomina bucle de refuerzo o del mismo sentido. Esto se puede leer como que: a mayor influencia del docente sobre el alumno, mayor influencia del alumno sobre el docente. En este nuevo enfoque, “*El docente no podría enseñar sin la realimentación que le aporta el alumno, ya que el docente sólo puede saber el paso siguiente que debe dar tras recibir la respuesta del alumno. Las preguntas, respuestas y expresiones del alumno, tanto las de perplejidad*

⁴ O sea, no como se realiza este proceso de la manera tradicional. (Ver figura 3)

como las de satisfacción, indican al docente por dónde debe continuar. Así, el alumno extrae del docente justo el conocimiento que necesita aprender. Cuanto mejor haga esto el alumno, más capacitado resultará el docente” (O’Connor y MacDermott, 1998). Desde otro punto de vista, el alumno “enseña” al docente cómo debe explicar su clase, y el docente “aprende” cómo debe enseñar “mejor” a partir de esa interacción.

Lo que se tiene es un círculo “virtuoso”, que favorece el proceso de enseñanza–aprendizaje a través de un mecanismo de cooperación entre el docente y el alumno, conocido como *aprendizaje generativo*, como se muestra en la figura 2.

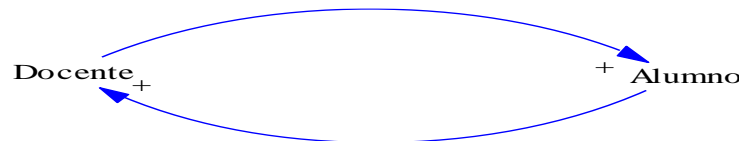


Fig. 2: Aprendizaje generativo.

Tradicionalmente, el enfoque del problema acerca del proceso de enseñanza–aprendizaje está centrado en el individuo que aprende, y en las estrategias pedagógicas consideradas más adecuadas para hacer aflorar en la conciencia de los alumnos sus concepciones consideradas “erróneas”, a fin de que las mismas se anulen o modifiquen a través de la confrontación significativa con las explicaciones consensuadas por la comunidad científica (Clement, 1982; Posner et al., 1982; Sebastia, 1984).

De acuerdo a nuestra perspectiva, esto representa la parte superior del bucle del proceso de enseñanza–aprendizaje:

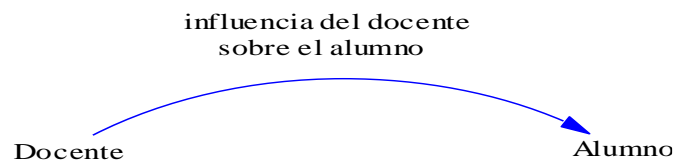


Fig. 3: Proceso de enseñanza–aprendizaje tradicional

Por lo tanto, no se produce la realimentación en el docente por parte del alumno, y se llega a una persuasión. El alumno no le pregunta al docente, y el docente no comprueba si el alumno ha entendido. Entonces, aparece la clásica queja del docente: “yo les enseño, pero ellos no aprenden”. Aquí, la persuasión se vuelve contraproducente, porque puede impedir el aprendizaje mutuo. Para ello, se debe unir la persuasión con la indagación para promover el aprendizaje cooperativo, lo que debe contribuir a que el proceso se transforme en un “taller de aprendizaje”, según lo confirman las prácticas pedagógicas de (Mesa y Díaz, 2017).

La visión sistémica es recursiva: toma las distinciones establecidas (enseñanza–aprendizaje) y las vuelve a aplicar a un nivel superior al que se está dando en la relación. Entonces, el docente puede desempeñarse con mayor maestría, a la vez que el alumno puede comprender mejor su proceso de aprendizaje, y con mayor complejidad que la que se usa en cualquier disciplina tradicional proveniente del Pensamiento Científico, sobre todo cuando debe usarse a la Matemática como herramienta de cuantificación. “La Dinámica de Sistemas ha demostrado que existe la manera de combinar conjuntamente la información numérica y la descriptiva en modelos que permiten la simulación de sistemas que son demasiado complejos para el análisis matemático” (Forrester, 1998).

En numerosas experiencias educativas en la región que han empleado a la Dinámica de Sistemas como herramienta pedagógica⁵, se destaca la oportunidad que tienen los alumnos de explorar, reunir información, y crear una unidad fuera de sus experiencias educativas; a su vez, el docente actúa como guía y alumno participante, y no como un simple depositario del conocimiento.

“En las últimas décadas del siglo XX se han producido cambios fundamentales en el desarrollo de las disciplinas que estudian los procesos cognitivos. Estos cambios comprenden la asociación entre las teorías psicológicas de la cognición con los sistemas computacionales basados en el conocimiento. Dentro de esta última familia está incluida la Dinámica de Sistemas. Este es un conjunto de metodologías que representan, adquieren y recuperan conocimientos, y por ello se dice que trabajan en la gestión del conocimiento” (González y Dankel, 1993).

Alguna vez, todos hemos tenido la experiencia de aprender de alguien por el que sentimos respeto y simpatía. Normalmente, en cualquier proceso de enseñanza–aprendizaje no siempre se considera este tipo de relación social.

Para finalizar este epígrafe, se debe aclarar que la relación humana entre docentes y alumnos es crucial para este tipo de proceso, donde se debe contribuir a transformar los preconceptos que estos últimos ya tienen formados.

III. Modelos mentales

Las ideas previas que el alumno posee y que condicionan fuertemente su aprendizaje no siempre serían erróneas o contradictorias con las teorías físicas aceptadas. Clement, Brown y Zietsman (1980) sugieren que pueden existir ideas intuitivas y representaciones mentales que están próximas a los modelos conceptuales científicos. La identificación de esas concepciones de anclaje permitiría trabajar sobre ellas como punto de partida para la construcción de los conceptos y modelos científicos a ser enseñados.

El problema de los modelos mentales surge cuando dichos modelos son tácitos, o sea cuando existen por debajo del nivel de la conciencia. En consecuencia, no se examinan, y permanecen intactos en el tiempo. Como vivimos en un mundo dinámico, estos modelos terminan “desconectados” de la realidad.

Los modelos mentales determinan el modo de interpretar el mundo, y, en consecuencia, el modo de actuar. Dicho de otra manera: afectan lo que hacemos porque, en parte, afectan lo que vemos.

La Dinámica de Sistemas tiene como gran ventaja, en el proceso de enseñanza–aprendizaje, trabajar con los modelos mentales de los alumnos acerca de la percepción que tiene del sistema a estudiar. Desde este punto de vista, el aprendizaje es *generativo*, y no *adaptativo*. Para favorecer el aprendizaje generativo se necesitan de alumnos que tengan aptitudes personales, y de docentes

⁵ José Raúl Díaz López y César Mesa Navarro: “Proyecto institucional sobre el aprendizaje de la Física General asistido por la modelación y simulación dinámica de sistemas”. (2017-2020). Claudio Mario Enrique: “Asesorías de aplicación en la enseñanza de la Física General”. “Centro de Investigación en Dinámica de Sistemas, Universidad Nacional de Catamarca. Argentina”. Colaborador en Argentina del Área de Dinámica de Sistemas (ADS), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), España. Joaquín Medín Molina: “Cursos de Física General con Modelación y Simulación Dinámica de Sistemas”; Director del Centro de Estudios de Dinámica de Sistemas, Universidad de Bayamón. Puerto Rico.

con aptitudes para reflexionar e indagar. Sólo entonces los alumnos deben dejar aflorar sus modelos mentales, y los desafían antes de que las circunstancias externas impongan nuevos razonamientos⁶.

Con el Pensamiento Sistémico, a través del proceso citado anteriormente, se favorece el estudio de los sistemas a través de la interrelación simultánea que se debe dar entre la razón, por parte del Modelo de Dinámica de Sistemas; y la intuición, por parte de los modelos mentales de los alumnos, de esta forma lograr mejoras en la comprensión del sistema, lo que implicaría una mayor probabilidad de modificarlo con éxito, tal como lo muestra la figura 4:

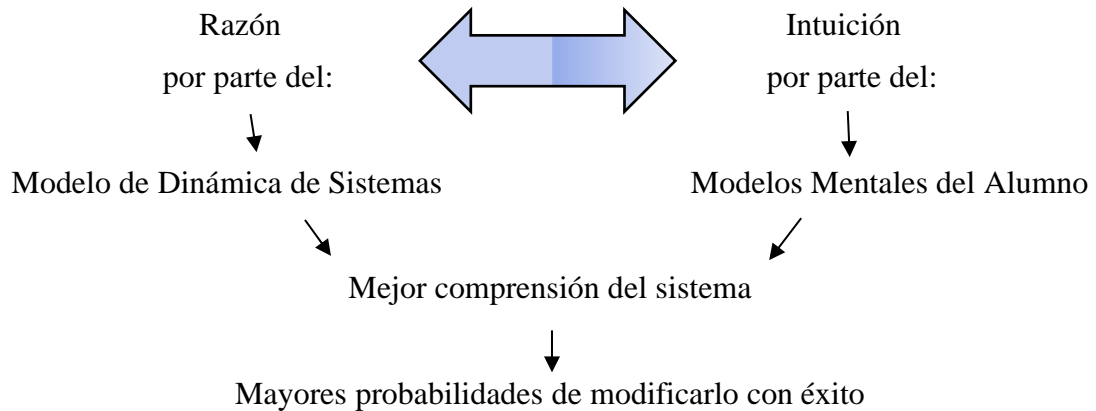


Fig. 4: Una nueva forma de estudiar los sistemas

IV. Las simulaciones y el proceso de enseñanza-aprendizaje

“La simulación computacional es el proceso de describir un sistema real y predecir sus estados futuros mediante el desarrollo y estudio de un modelo computacional” (Zeigler, 1994). El término “sistema real” es una forma abreviada de designar un proceso complejo, por el cual se aísla como sistema algo que le interesa del mundo para considerar su comportamiento.

En este contexto, la simulación se refiere al uso de computadora, basado en las simulaciones dinámicas modeladas. Una simulación en el aula es un método de enseñanza–aprendizaje, o el aprendizaje evaluando a un sistema basado en una situación real.

Se asume, de manera abreviada, que construir un modelo en este contexto, basado en la Dinámica de Sistemas consiste en:

- a) Formular el problema.
- b) Identificar las variables clave de la situación problemática.
- c) Representar los lazos y ciclos de retroalimentación de las variables a través de un diagrama causal.
- d) Generar el modelo.
- e) Evaluar y probar el modelo.
- f) Validar el modelo.

⁶ Los alumnos pueden ser sometidos previamente a herramientas diagnósticas para realizar la clasificación de estos para su posterior seguimiento académico personalizado. (Enrique, 2014).

En la Dinámica de Sistemas interesa cómo evoluciona el sistema en el tiempo, y la forma en la que cambian los elementos o las variables, o *comportamiento* del sistema.

Para la representación de modelos dinámicos, la Dinámica de Sistemas utiliza el Diagrama de Flujos, también llamado Diagrama de Forrester, y es una terminología que facilita la lectura de las ecuaciones⁷.

Básicamente, consiste en la clasificación de los elementos del sistema en cuatro tipos: niveles o *stocks*, flujos de “materiales” o *tasas*, variables auxiliares o *convertidores*, y flujos de información o *conectores*.

Los “niveles” son aquellos elementos que describen en cada instante la situación del modelo – acumulan algo -, presentan una cierta estabilidad en el tiempo, y varían solo en función de otros elementos denominados “flujos”. Estos se representan por un rectángulo.



Fig. 5: Nivel

Los “flujos de material” son elementos que pueden definirse como funciones temporales. Puede decirse que recogen las acciones resultantes de las decisiones tomadas en el sistema, determinando las variaciones de los niveles. Las “nubes” dentro del diagrama de flujos son niveles de contenido inagotable. Ejemplos: tasa de una magnitud física, tasa de natalidad, tasa de mortalidad, tasa de acumulación de un contaminante, etc.

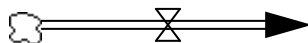


Fig. 6: Flujo “material”

Las “variables auxiliares” y las “constantes”, que son parámetros, permiten una visualización mejor de los aspectos que condicionan el comportamiento de los flujos.



Fig.7: Variable Auxiliar

Las magnitudes físicas entre flujos y niveles se transmiten a través de los denominados “canales materiales”. Por otra parte, existen los llamados “canales de información”, que transmiten, como su nombre lo indica, informaciones que, por su naturaleza, no se conservan.

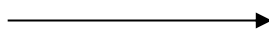


Fig. 8: Flujo de información

⁷ Existe una corriente, dentro de esta disciplina, que utiliza como principal instrumento de análisis a los Diagramas de flujos. Otra corriente, que se encuentra enfrentada operativamente a la anterior, se basa en los diagramas de influencias para la construcción del modelo, y utiliza el diagrama de flujos únicamente como paso intermedio hacia la escritura de las ecuaciones. Los autores consideran que, cuando se conoce demasiado a un sistema, se puede prescindir del diagrama de influencias usando el diagrama de flujos.

Todos los elementos presentados se encuentran relacionados entre sí, como en el ejemplo de la figura siguiente⁸:

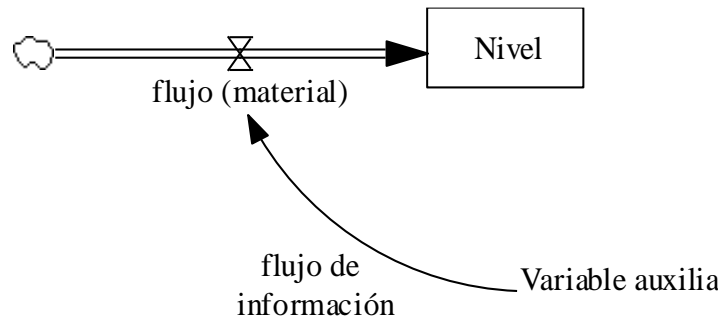


Fig.9: Modelo de Dinámica de Sistemas o Diagrama de Forrester

V. *El aprendizaje de la física, el pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas.*

Se concibe una dinámica educativa que supera la concepción determinista, con la instrucción enfocada en el dominio de las técnicas actuales, y que se propone el desarrollo de actitudes de pensamiento proactivas dirigidas a lograr una mayor capacidad de aprender. Es decir, un modelo educativo centrado en los procesos de pensamiento para la estructuración del conocimiento y la toma de decisiones con visión de futuro y no centrado en contenidos (conocimiento pasado y actual).

En el modelo educativo que promueve la concepción didáctica, se integran principalmente los aportes del Pensamiento Sistémico, el Constructivismo y la Dinámica de Sistemas, esta última como metodología para la explicación y representación de la estructura dinámica de los fenómenos y procesos físicos que son objetos de estudio. De la integración de estos tres elementos emerge una Práctica Educativa Sistémica (Andrade Sosa, H. H., 1998) que constituye la esencia de la concepción.

El pensamiento de sistemas aporta la propuesta de formas de pensamiento, el enfoque constructivista, la especificación de los roles de los actores y la Dinámica de Sistemas, la metodología y la instrumentación informática que facilitan la modelización y la simulación. Los diferentes aportes se integran para generar un ambiente que viabiliza la práctica educativa centrada en los procesos de pensamiento, en la medida que define su objetivo principal con base en el desarrollo de las habilidades de pensamiento y no en la instrucción o adquisición de contenidos. Asimismo, la Dinámica de sistemas acentúa estructuras conceptuales en la física, lo que tiene explicación en la propia estructura conceptual de un objeto físico que consiste de un conjunto de magnitudes interrelacionadas y de determinadas reglas para su uso.

La viabilidad de la integración se sustenta en el sincronismo de los aportes reconocidos de estos tres elementos (Andrade, 1998), lo que se sintetiza en la siguiente tabla:

⁸ Estos grafos son característicos del software VenSim PLE, que es el empleado en este trabajo, por ser una versión académica gratuita. Además, este y los demás citados son de fácil acceso, conjuntamente con sus respectivos tutoriales, permitiendo el trabajo independiente de los alumnos desde que comienzan a recibir los cursos de Física, asumiendo este método de aprendizaje.

Tabla 1: Sincronismo de los aportes entre el Constructivismo, el Pensamiento sistémico y la Dinámica de sistemas.

<i>Constructivismo</i>	<i>Pensamiento sistémico</i>	<i>Dinámica de sistemas</i>
<i>El alumno posee ideas previas o preconceptos sobre el objeto de estudio.</i>	<i>Las ideas se interrelacionan para formar conceptos y sistemas de ellos.</i>	<i>Las ideas se configuran en modelos mentales que pueden formalizarse.</i>
<i>Las ideas y preconceptos pueden estructurarse en mapas conceptuales.</i>	<i>Se sugiere formas de pensamiento para orientar la conceptualización.</i>	<i>Los diagramas causales son un primer paso en la formalización de los modelos mentales.</i>
<i>Se identifican estructuras de razonamiento, entre ellas las lógico-matemáticas.</i>	<i>Se describen siete formas de pensamiento lógico.</i>	<i>Los modelos formalizados pueden simular el comportamiento del objeto de estudio.</i>
<i>El docente facilita el proceso de construcción de conocimiento.</i>	<i>El docente estimula procesos de pensamiento en el alumno.</i>	<i>Los modelos pueden compartirse fácilmente lo que facilita el papel dirigente de los docentes en el proceso de su construcción.</i>

Tomando en cuenta todo lo anterior, asumimos el aprendizaje como el proceso de transformación de los modelos mentales del alumno, los cuales a su vez le orientan la comprensión y uso apropiado del conocimiento formal (explicación científica). Es decir, en la apropiación del conocimiento, el individuo concientiza sus modelos mentales los cuales guían su intervención en el mundo a través de la toma de decisiones basadas en ese conocimiento. (Andrade Sosa, 2009)⁹.

VI. Resultados

A partir de una experiencia real en el laboratorio o la interacción con elementos multimedia elaborados al efecto (filmaciones de fenómenos, experimentos o procesos físicos) se promueve por el docente una descripción verbal de la experiencia, en lo que se van revelando aspectos relevantes de los modelos mentales de partida o preconceptos. En este proceso el docente conduce las descripciones hacia la “construida” que funciona como un estado deseado o meta, en respuesta a la pregunta ¿qué pasó? Seguidamente se trata de encontrar una explicación al fenómeno descrito anteriormente, dando respuesta a la pregunta ¿por qué pasó? Como resultado se obtiene una explicación argumentada del fenómeno donde se revelan los elementos esenciales o magnitudes relevantes en forma de conceptos, lo cual constituye un modelo conceptual discursivo que, en un proceso recursivo, se convierte en un diagrama de influencias o mapa conceptual que permite explicar el fenómeno, estableciendo las relaciones entre las magnitudes conceptualizadas y experimentar con ellas. Al mismo tiempo, el diagrama de influencias se formaliza mediante un diagrama de Forrester o diagrama de flujo para su representación simbólica empleando alguno de los softwares disponibles (VenSim, Stella, Mathlab u otros). En este proceso se introducen, bajo la guía del docente, diferentes hipótesis. El modelo formal obtenido puede manipularse deliberadamente (simulación) generando diferentes escenarios, lo que responde a la pregunta ¿qué pasaría si...? Las simulaciones alimentan la explicación del fenómeno en forma cuantitativa permitiendo generar tablas de precisión que permiten evaluar la modelización realizada.

Por ejemplo, toda la Mecánica Newtoniana puede sistematizarse a partir de un pequeño grupo de conceptos y principios entre los que se destacan:

- Velocidad: Cambio de posición
- Aceleración: Cambio de velocidad

⁹ Ponencia presentada en el marco del Séptimo Congreso Latinoamericano y Séptimo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas 2009.

- Momentum: Cantidad de movimiento
- Fuerza: Cambio de momentum

Aquí es necesario hacer la precisión de que el término “*cambio*” se refiere a la dinámica de la variación de una magnitud, mientras que muchos libros de texto hablan de velocidad como “desplazamiento por unidad de tiempo”, pero esto no refleja la característica central de la velocidad, que es un proceso de cambio de posición.

La figura 10 muestra un modelo simple de Dinámica de Sistemas, esquematizado en diagramas de Forrester y basado en las definiciones y principios anteriores. Este modelo es suficiente para describir y predecir una gran cantidad de fenómenos de la Mecánica Clásica, entre los cuales se cuentan:

- Paracaidismo, incluyendo investigaciones en la fase de apertura del paracaídas.
- Oscilaciones mecánicas¹⁰.
- Movimiento planetario, problema de dos y tres cuerpos.
- Caída de un cuerpo en el seno de un fluido viscoso.
- Otros fenómenos que involucran fuerza, velocidad y movimiento¹¹.

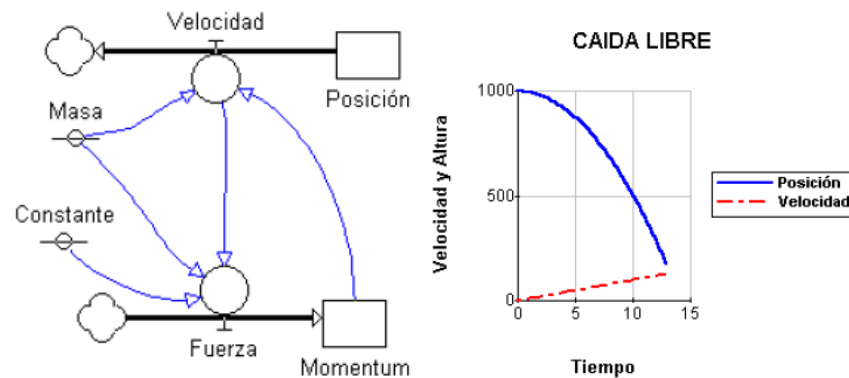


Fig. 10: Modelo newtoniano estándar de caída libre en DS.

Las soluciones a todos estos problemas se basan en el mismo núcleo del modelo de la figura 10. Para llegar a ellas los alumnos deben seguir el procedimiento de encontrar las fuerzas, establecer su dependencia y luego relacionarlas. También el modelo puede adaptarse para el movimiento bidimensional o para problemas de dos cuerpos, con los cambios adecuados.

Los modelos preferiblemente deben ser desarrollados en clase, a través del método de elaboración conjunta, como trabajos grupales, mientras el docente motiva o sugiere los elementos necesarios para el trabajo de los alumnos (construcción del modelo), y luego lo comprueba utilizando las herramientas computacionales adecuadas (Vensim, Stella, Matlab u otras). En general, se debe enfatizar en la construcción y la confrontación de los modelos y de sus resultados por medio del debate o exposiciones grupales, velando siempre porque los alumnos logren las soluciones como

¹⁰ Trabajo que forma parte de la Biblioteca Virtual del Área de Dinámica de Sistemas de la Universidad Politécnica de Catalunya. España. (Enrique, 2002).

¹¹ Trabajo publicado en el boletín de Dinámica de Sistemas. (Enrique, 2004).

resultado de un proceso de comprensión y representación del fenómeno en estudio e incluso el empleo de la simulación como herramienta de prueba y error.

En síntesis, la dinámica de aprendizaje “modelando” que se propone, explica cómo a partir de una experiencia frente a un fenómeno físico real o virtual, se genera un incentivo que queda determinado por la pertinencia de la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP) (Venet, M. y Correa, E. 2014)¹², y el estilo de aprendizaje, el cual retarda o acelera la construcción de motivación a partir del incentivo. La motivación promueve la interactividad que se produce tanto hacia el docente como hacia los compañeros de grupo y esta interactividad favorece la mediación que realizan los medios informáticos y de laboratorio, así como el grupo, condicionado por la colaboración, lo que promueve las acciones cognitivas en las que se establecen relaciones de influencias entre las magnitudes involucradas en la experiencia fenomenológica, que se concretan en el proceso de modelización. La dinámica descrita se esquematiza en la figura 11, la cual es susceptible de formalización en un Diagrama de Forrester, para su posterior evaluación y validación.

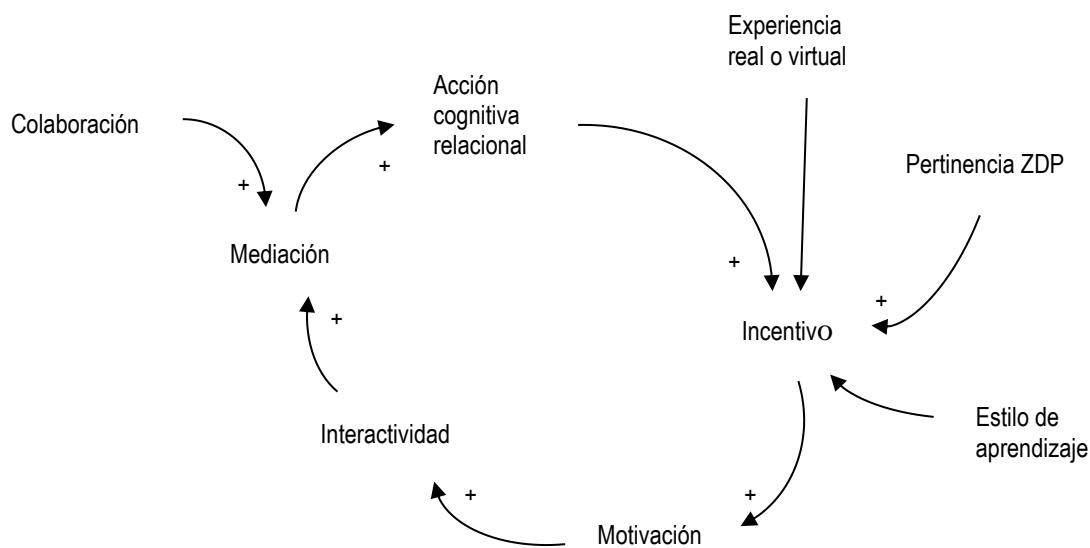


Fig. 11: Diagrama de influencias de la dinámica de aprendizaje de fenómenos físicos “modelando”.

Como se puede apreciar, el lazo de retroalimentación es de reforzamiento, por lo que da lugar a un proceso de crecimiento sin límites, basta crear un incentivo inicial para generar un ciclo que involucra las acciones cognitivas relacionales.

Tomando como base todo lo anterior, la secuencia de acciones didácticas sigue el siguiente patrón:

- A partir de una situación experimental, asistida con recursos multimedia, los alumnos realizan una primera valoración del fenómeno físico bajo la guía del docente. La observación y valoración de la situación experimental puede repetirse cuantas veces sea necesario.
- Empleando el método de elaboración conjunta los alumnos por grupo y el docente realizan una descripción cualitativa de la situación observada, identifican las magnitudes más

¹² De acuerdo con Vygotsky (1934/1990), “la Zona de Desarrollo Próximo tiene un valor más directo para la dinámica de la evolución intelectual y para el éxito de la instrucción que el nivel actual de su desarrollo” (p. 239). Citado por: (Venet, y Correa, 2014).

importantes que intervienen y realizan un esquema de influencias donde se plasman de manera explícita las relaciones entre las magnitudes seleccionadas.

- A partir de la estructura de relaciones establecida en el esquema de influencias se predice su comportamiento y se compara con lo observado en la situación experimental dando explicación cualitativa al fenómeno observado.
- Utilizando la metodología de la dinámica de sistemas se traduce el esquema de influencias en un diagrama de Forrester introduciendo las relaciones cuali-cuantitativas entre las magnitudes involucradas en calidad de hipótesis. Aquí se utiliza todo el conocimiento anterior sobre el objeto.
- El diagrama de Forrester se implementa en un entorno de software adecuado haciendo explícitas las relaciones entre las magnitudes involucradas, se realiza la simulación y se analizan e interpretan los resultados dando explicación cuantitativa al fenómeno observado y se compara con los resultados de las mediciones (tablas de precisión).

CONCLUSIONES

1. La integración del Pensamiento Sistémico y el Constructivismo, con el soporte metodológico de la Dinámica de Sistemas, determina los objetivos educativos, los roles del docente y del alumno, así como el papel de los medios. Lo anterior establece la necesidad de diseñar un ambiente que propicie la integración de dichos roles, de acuerdo con los objetivos y con los medios. En este sentido, la “*dinámica de aprendizaje modelando*” propuesta aporta las herramientas necesarias para contribuir a resolver los problemas detectados en los alumnos de nuestras universidades.

2. Se precisó que los elementos que conforman este ambiente son los siguientes:

Aspectos organizativos:

Las actividades docentes tendrán un carácter grupal de tipo taller de debate, polémicas entre grupos, disertaciones, etc., bajo la dirección del docente.

Los contenidos a aprender son modificables de acuerdo a las necesidades de la clase y el conocimiento previo de los alumnos.

Los contenidos deben incorporar elementos de disciplinas afines tales como la matemática, la química entre otras, para aprovechar las analogías que facilitan el proceso de aprendizaje.

Requisitos:

Capacidad para la edición de modelos conceptuales que facilite la formalización mediante ecuaciones explícitas (modelo matemático).

Posibilidad para la presentación de los resultados de las simulaciones por medio de tablas, gráficos y animaciones.

Capacidad para realizar anotaciones aclaratorias, tanto por parte del docente como de los alumnos.

Contar con una librería de modelos prediseñados con facilidades para incorporar nuevos y para la confrontación de comportamientos.

3. El pensamiento sistémico no constituye un contenido o disciplina de currículo sino un paradigma de pensamiento que potencia el proceso de aprendizaje y da sentido al uso de herramientas

informáticas en la búsqueda de vías para mejorar el rendimiento del proceso educativo acorde con el mundo de hoy.

4. Para implementar la propuesta, se requiere un ambiente educativo informatizado, el cual especifica determinados roles del docente y del alumno y utiliza materiales educativos con un alto componente informático al combinar características de software simulador, micro mundos y tutores.

Roles de los alumnos:

Participar en la definición (hacer explícitos) de sus modelos mentales, en forma individual y en grupos.

Desarrollar formas de pensamiento lógico-matemático mediante actividades que propone el ambiente educativo.

Recrear su modelo mental, con la formalización y simulación en el computador, para luego colocarlo a prueba mediante la confrontación con el comportamiento de otros modelos, con el análisis, con las discusiones con sus compañeros y con los resultados de experimentos de laboratorio.

Roles del docente:

Identificar los procesos de pensamiento de sus alumnos (p. ej. estático vs dinámico, estructurado vs no estructurado, etc.).

Identificar el conocimiento previo del alumno en el tema particular de estudio (modelos mentales).

Establecer estrategias de aprendizaje de acuerdo al conocimiento previo y los procesos de pensamiento identificados.

Realizar las adecuaciones necesarias al contenido de lo que se va a estudiar, en función del conocimiento previo y teniendo presente el proceso de pensamiento a estimular.

5. Todos estos elementos aportan los fundamentos que justifican las ventajas de esta nueva concepción didáctica de aprendizaje, tomando como esencia fundamental al Pensamiento Sistémico, y la Dinámica de Sistemas como método. De esta manera se les otorga los alumnos el papel protagónico principal, y al docente el de orientador y mediador del proceso de enseñanza-aprendizaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bertalanffy, L. V. (1968). "General Systems Theory", George Braziller, New York.

Forrester, J. W. (1961). Industrial Dynamics, MIT Press.

Emblemsvoeg, J. and Bras, B. (2000). "Process thinking — a new paradigm for science and engineering". Futures Vol. 32, pp. 635–654.

Díaz, J. R. y Mesa, C. (2017). "El aprendizaje de la Física General asistido por el pensamiento en procesos". Didasc@lia: Didáctica y Educación ISSN 2224-2643, 8(6), 13-24. Recuperado a partir de (<http://revistas.ult.edu.cu/index.php/didascalia/article/view/688>)

Senge, P. (1998). "La Quinta Disciplina – El arte y la práctica de la organización al aprendizaje". Granica.

Goldenberg, I. y Cafferatta, N. (2001). "Daño Ambiental. Problemática de su determinación causal". Abeledo-Perrot, Buenos Aires.

Aracil, J. y Gordillo, F. (1997). "Dinámica de Sistemas". Alianza, Madrid.

- Capra, F. (1998). “El Punto Crucial – Ciencia, sociedad y cultura naciente”, Integral.
- Senge, P.; Ross, R.; Smith, B.; Roberts, Ch.; Kleiner, A. (1998). “La Quinta Disciplina en la Práctica – Estrategias y herramientas para construir la organización abierta al aprendizaje”. Granica.
- O’Connor J. y MacDermott, I. (1998). “Introducción al pensamiento sistémico”. Editorial Urano. Barcelona. España.
- Mesa, C. y Díaz, J. R. (2017). “Las Clases Prácticas de Física General como Talleres de Aprendizaje para alumnos de ingeniería. Didasc@lia: Didáctica y educación ISSN 2224-2643, 8(6), 71-82. Recuperado a partir de (<http://revistas.ult.edu.cu/index.php/didasca/article/view/693>)
- Forrester, J. (1998). “Diseñando el Futuro”, Conferencia dictada en la Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- González, A. J. y Dankel, D. (1993). “The Engineering of Knowledge – based systems”. Theory and Practice, Prentice-Hall.
- Enrique, C. (2014). “¿Los modelos mentales que emplean los alumnos sobre los conceptos de electrostática dependen de la ingeniería que estudian?” RBFTA, v.1, n.1, maio/junho, p.9. DOI:10.3895/S2358-00892014000100002.
- Zeigler, B. P. (1984). “Theory of Modelling and Simulation”. Academic Press.
- Andrade Sosa, H. H. Parra Ortega, C. A. (1998). “ESBOZO DE UNA PROPUESTA DE MODELO EDUCATIVO CENTRADO EN LOS PROCESOS DE PENSAMIENTO”, IV Congresso RIBIE, Brasilia.
- Andrade Sosa, H. H. Góngora, G. P. (2009). “LA DINÁMICA DE SISTEMAS EN LA ESCUELA, CONSTRUYENDO MODELOS MENTALES PARA LA TOMA DE DECISIONES COTIDIANAS - UNA EXPERIENCIA COLOMBIANA”. Tomado de: (<http://simon.uis.edu.co/>)
- Enrique, C. M. (2002). “Un Estudio de los Movimientos Oscilatorios Forzado, Amortiguado, y Armónico, usando la Dinámica de Sistemas”. (<http://www.catunesco.upc.es/ads/ads10.htm>).
- Enrique, C. M. (2004). “Estudio Cinemático y Dinámico del movimiento de un proyectil”. (<http://www.dinamica-de-sistemas.com>).
- Venet, M. y Correa, E. (2014). “El concepto de zona de desarrollo próximo: un instrumento psicológico para mejorar su propia práctica pedagógica”. Pensando Psicología, 10(17), 7-15. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/pe.v10i17.775>

