

MODELADO DE SISTEMAS DINAMICOS Y EDUCACIÓN EN CIENCIAS

JOAQUIN MEDIN MOLINA
COLEGIO UNIVERSITARIO DE BAYAMON-UPR
ANNUAL BEST PRACTICES CONFERENCE
ON TEACHING AND LEARNING-AMP
OCTOBER 31,2003
PONCE ,PUERTO RICO

Abstract

In this essay I consider some of the problems in the teaching of science that the methodology of dynamic modeling can help to address effectively. I submit that system dynamics modeling adds value to the educational experience by:

- eliciting the mental models of students through the construction of conceptual maps in the form of stock and flow diagrams
- being congenial with a workshop mode of teaching, centered in the learner and not in the teacher
- reducing the mathematical barriers to a rigorous study of complex and interesting systems
- providing generic models or so called archetypes that promotes the transference of the learning in one domain to different domains
- integrating the computer and the brain in a synergism that builds up our capacity to construct and simulate formal models
- vindicating the centrality of time as a fundamental category to understand reality

Some examples will be presented to illustrate this educational potential of dynamic modeling for the teaching of science at the undergraduate level. Some general remarks are made related to the thinking skills that constitute the dynamic modeling method. An appendix is included that describes an honors course on dynamic modeling being taught for the past six years at the University of Puerto Rico at Bayamón .

INTRODUCCION

La investigación educativa en las décadas pasadas ha llegado conclusiones que ponen en duda la efectividad de la enseñanza tradicional en las ciencias. En relación con conceptos científicos medulares como fuerza, energía, calor, equilibrio químico, evolución biológica, los estudiantes tienden a retener sus preconcepciones aún después de la experiencia educativa². En el caso particular de la Física los estudiantes la conciben como un agregado de formulas específicas relacionadas a problemas específicos y no como un sistema formado por un número limitado de conceptos y principios de gran aplicabilidad y generalidad. Los estudiantes pueden aprender a resolver los problemas típicos de los libros de textos pero raramente aplican los conceptos físicos a fenómenos fuera del contexto del laboratorio o la clase. En el salón de clase los problemas cuantitativos en los que el estudiante debe sustituir números en ecuaciones para arribar al resultado correcto, dominan sobre los cualitativos en los que el estudiante debe esforzarse en conceptualizar un fenómeno a partir de sus propias ideas. De suerte que las oportunidades del estudiante para experimentar con ideas (contrastarlas y explorar sus consecuencias) son a lo sumo muy limitadas y por consiguiente la enseñanza tradicional estimula poco el entendimiento conceptual de la ciencia. En general este modo de enseñar fomenta la imagen de la ciencia como un cuerpo de creencias proclamadas como verdaderas por los científicos y consagradas en los libros de texto. Es decir la ciencia se enseña paradójicamente como si fuera pseudociencia³.

Debido a su carácter fragmentario la educación tradicional en ciencias y en otras disciplinas se torna progresivamente irrelevante a medida que las sociedades se tornan más complejas y fuertemente acopladas. Las ciencias físicas, biológicas , sociales y las humanidades se enseñan como si fueran inherentemente diferentes

unas de otras. Por ejemplo la estructura dinámica fundamental que causa que un péndulo oscile, es la misma que causa las oscilaciones de una comunidad biológica de presas y predadores, o la estructura central que causa las fluctuaciones en empleos e inventarios durante el ciclo económico. Se enseña un currículo del cual se espera que el estudiante sintetice una visión del mundo natural y social, sin embargo el marco conceptual para construir esa síntesis no suele enseñarse explícitamente. Se espera que el estudiante unifique fragmentos de su experiencia educativa que sus propios mentores no han alcanzado a unificar.

A riesgo de simplificar demasiado podemos decir que la dimensión temporal ha sido otra de las grandes ausentes en la educación tradicional en todos los niveles. ¿Qué causa el cambio del pasado al presente y del presente al futuro? ¿Cómo las decisiones del presente determinan el futuro hacia el cual nos dirigimos? Las respuestas a tales preguntas acerca de como las entidades cambian en el tiempo se encuentran en el comportamiento dinámico de sistemas físicos, personales y sociales. Las pautas dinámicas de conducta que son comunes a todos esos sistemas pueden enseñarse como tales y pueden ser entendidas. Las imágenes estáticas del mundo real que nos brinda la educación están en contradicción con los problemas del mundo que son dinámicos. El cerebro humano es bastante efectivo para captar relaciones estáticas, pero es muy pobre para simular por sí solo el comportamiento de sistemas interactuantes que cambian en el tiempo⁴. El ordenador en conjunto con los programas pertinentes son instrumentos esenciales para esa faena.

Es a partir del reconocimiento de estos déficits educativos y de sus orígenes que algunos educadores hacen las siguientes propuestas:

- Desplazar el foco de la educación científica de la memorización de información o la realización de cálculos cuantitativos a la formulación y discusión cualitativa de las hipótesis que configuran nuestros modelos mentales de la realidad.
- Ofrecer a los estudiantes la oportunidad de explorar sus ideas acerca de problemas científicos relevantes y sobre maneras de abordarlos.
- Propiciar el estudio de casos realistas que involucren sistemas complejos, minimizando las dificultades y prerequisites matemáticos.
- Proveer explícitamente un marco conceptual transdisciplinario que facilite que el estudiante pueda sintetizar lo estudiado en los diferentes cursos y transferir lo aprendido.
- Incorporar el ordenador en la enseñanza como amplificador del cerebro humano pensante y orientarlo hacia usos noveles, difíciles o imposibles de alcanzar en el modo tradicional de enseñanza.
- Vindicar el tiempo como categoría fundamental para entender la realidad, es decir reforzar las perspectivas dinámicas sobre las estáticas, el estudio de procesos sobre el estudio de eventos o estados de cosas.

SISTEMODINAMICA COMO OPCION EDUCATIVA

La construcción de modelos computarizados guiados por el enfoque de modelado de sistemas dinámicos, que designaremos por sistemodinámica, puede contribuir significativamente a hacer realidad todas estas propuestas. En particular el modelado sistemodinámico :

- requiere del estudiante y facilita la construcción de mapas conceptuales rigurosos del sistema estudiado
- se ajusta naturalmente a un modo de enseñanza tipo taller, centrada en el estudiante y no en el profesor.
- reduce considerablemente las barreras matemáticas para investigar sistemas interesantes y complejos
- provee conceptos y arquetipos conceptuales portátiles que pueden ser transferidos a través de las disciplinas
- requiere el uso combinado del cerebro y el ordenador para hacer lo que cada cual hace mejor : el cerebro crea o recrea los modelos y el ordenador los simula.
- pone en vigor una metodología en la que la pregunta científica fundamental no es ¿Cómo son las cosas? ,sino que es ¿Cómo cambian las cosas ?.

La sistemodinámica es una metodología general desarrollada en los años sesenta por el profesor de ingeniería de M.I.T. Jay Forrester¹ para analizar fenómenos dinámicos de cualquier índole mediante la

construcción de modelos simulables con la ayuda del ordenador. La sistemodinámica propone que existe una analogía entre cualquier sistema dinámico y un sistema hidráulico de vasos comunicantes. Esto equivale a suponer que los comportamientos complejos que ocurren a nuestro alrededor pueden describirse y explicarse mediante sistemas de propiedades que forman estructuras de niveles (stocks) y flujos (flows) articulados en bucles (loops) de realimentación(ver ejemplo ilustrativo en figura 0). Los modelos de estos sistemas pueden ser siempre construidos con tres tipos de variables: variables de estado o niveles(análogas a los tanques de reservas de agua y representadas por íconos en forma de rectángulos), sus tasas absolutas de cambio o flujos (representadas por tubos con una válvula central), variables auxiliares o convertidores (representadas por círculos) ,y relaciones causales que se designan como conectores (representados por flechas que se originan en la variable influyente y terminan en la variable influida).

La aplicación de este modo de pensar transdisciplinario a la educación en ciencias es todavía a escala planetaria una empresa pequeña pero que recientemente da indicios de cobrar renovados bríos. La razón primordial de este auge es el desarrollo y la disponibilidad creciente de ordenadores y programas como Stella (Vensim, Powersim,etc.). B. Hannon en el prefacio de su libro Dynamic Modeling señala lo siguiente: “La democratización del modelado del mundo real indica que estamos en los comienzos de una revolución en la educación y el pensamiento... que hará del modelaje un componente integral de la educación general junto a la literacia y numeracia”

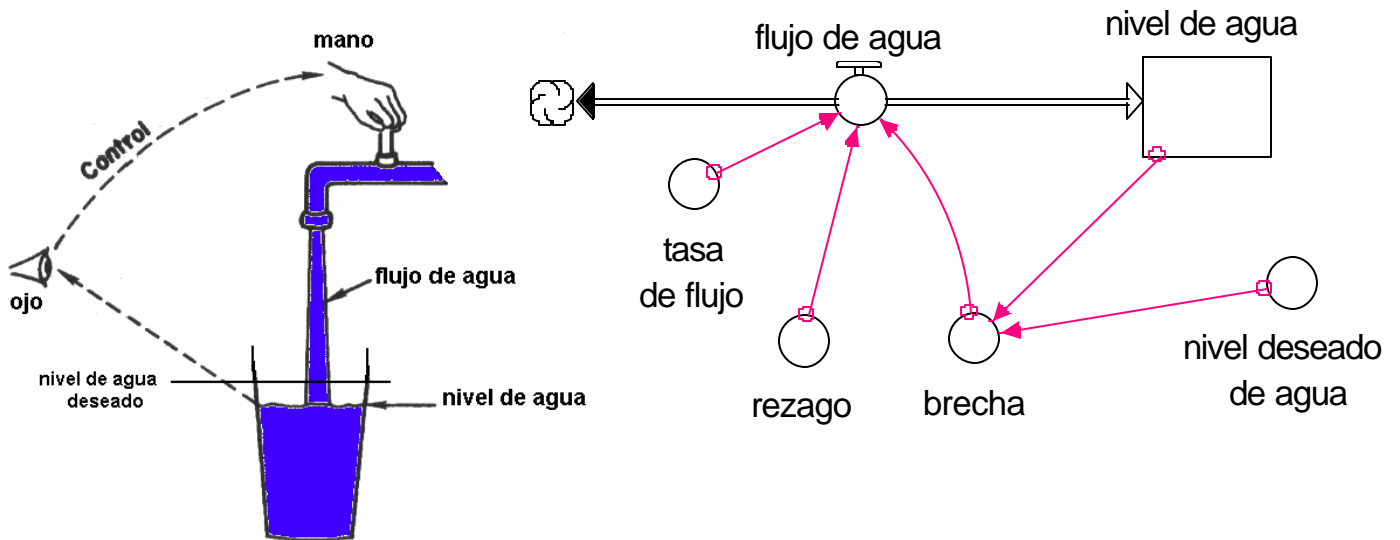


FIGURA 0: Ilustración de los elementos fundamentales del modelado sistemodinámico. A la izquierda se presenta el sistema cuyo mapa conceptual sistemodinámico (diagrama de Forrester) aparece a la derecha del dibujo. El nivel de agua en el vaso es controlado por el flujo de agua hacia el vaso, el que a su vez es regulado por la posición del grifo, que a su vez es ajustada por la persona de acuerdo con la brecha entre el nivel de agua en el vaso y el nivel deseado. El flujo circular de información y materia constituye un bucle de realimentación o cadena circular de causas y efectos.

A continuación expondré un modo de implementar este enfoque con ejemplos tomados de mi práctica de enseñanza de la Física introductoria universitaria y de un curso de Sistemodinamica que he diseñado y ofrecido durante los pasados 6 años(ver prontuario del curso en apéndice).

MODELADO DINAMICO Y MAPAS CONCEPTUALES

El modelado sistemodinámico requiere que el estudiante analice el fenómeno y desarrolle un modelo. Se introduce al estudiante a la estrategia del experto: concentrarse primero en un análisis conceptual y semicuantitativo del sistema. Esto se articula en un diagrama similar a un mapa conceptual que se conoce como Diagrama de Forrester. El diagrama representa gráficamente la estructura conceptual del modelo. Los conceptos pertinentes y sus relaciones vinculantes se ponen de manifiesto a través del diagrama. El programa de modelado orienta al estudiante tanto en la fase de construcción del modelo como en la de exploración de su adecuación mediante simulaciones.

En el ámbito de la Física del movimiento los modelos tienen una estructura común que puede visualizarse fácilmente con el diagrama de Forrester, según se muestra en la figura 1.

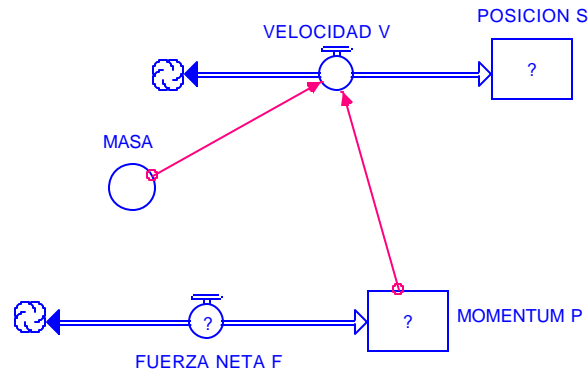


FIGURA 1 Estructura medular de los modelos de Mecánica Newtoniana. La fuerza neta ejercida sobre un objeto causa un cambio en su momentum $dP/dt = F$ (segunda ley de Newton). La velocidad del objeto es $V = P/M$. La velocidad es la tasa de cambio de la posición: $dS/dt = V$. Los signos de interrogación ? son puestos por el programa para indicar que es necesario especificar la fuerza y las condiciones iniciales de momentum y posición para poder hacer la simulación del modelo.

El estudiante puede reproducir fácilmente esta estructura medular cuando se enfrenta a nuevos problemas. Su esfuerzo debe concentrarse en precisar las fuerzas sobre el cuerpo en una situación determinada. Las fuerzas pueden ser constantes (peso), o depender de la posición (gravitación), la velocidad (fricción) o del tiempo, pero siempre se preserva la estructura medular. (ver figura 2).

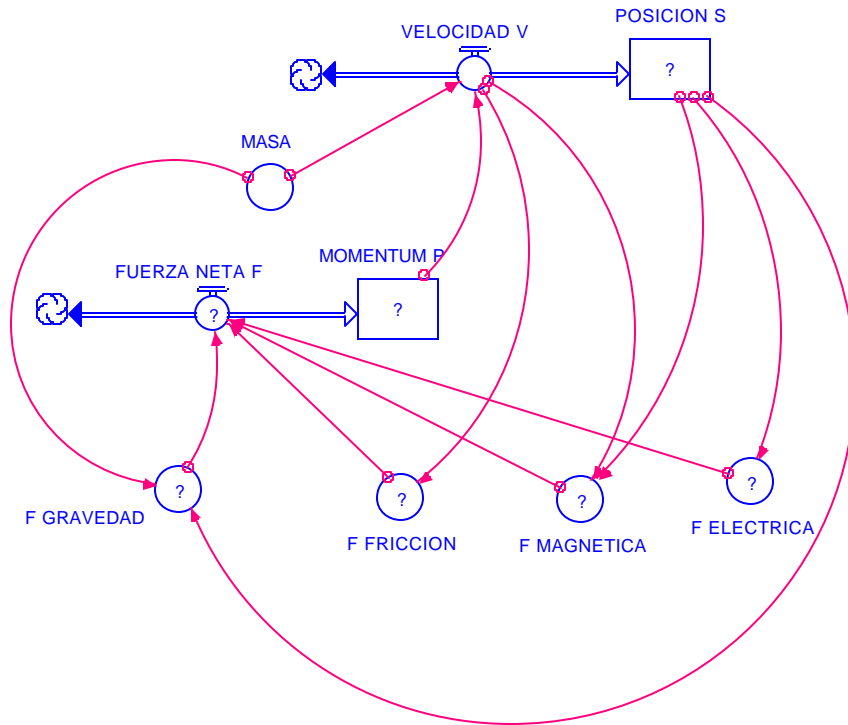


Figura 2. Bucles de retroalimentación en el modelo canónico newtoniano.

El estudiante tiene que seguir el mismo principio siempre: hallar las fuerzas, encontrar de que éstas dependen y luego sumarlas para hallar la fuerza neta. La misma estructura medular aplica a un péndulo, paracaidista, un meteoro, un planeta, un ión en un espectrómetro de masas y a una partícula alfa dispersada por un núcleo. Afortunadamente existen estructuras conceptuales medulares en virtualmente todos los ámbitos de la Física que se pueden visualizar efectivamente con diagramas de Forrester. El estudiante puede internalizar que la Física es “fácil” en el sentido de que muchas situaciones diferentes pueden explicarse con un pequeño arsenal de instrumentos conceptuales. Un análisis equivalente podría hacerse de dominios importantes de la Química (Vg. Cinética química), de la Biología (Vg. Teoría darwiniana de la evolución), de la Psicología humana (Vg. Dinámica del “burnout”), de la Economía (Vg. Teoría del ciclo económico), Sociología (Vg. Dinámica de migraciones y movilidad social), Historia (Vg. Colapso de una civilización: Maya), Filosofía de la ciencia (Vg. Modelo Kuhniano del desarrollo de las teorías científicas), y la simulación de procesos dinámicos en la literatura de ficción (Vg. Dinámica del deseo de venganza de Hamlet).

LA SISTEMODINAMICA AYUDA A INVESTIGAR FENOMENOS COMPLEJOS.

Con la ayuda de las herramientas de la sistemodinámica pueden examinarse muchos efectos interesantes de la vida real que suelen ser excluidos de los cursos. Esto se refiere a lo siguiente:

- El trabajo difícil y tedioso de resolver (integrar) las ecuaciones matemáticas es asumido por el programa. La tarea del estudiante consiste en formular las ecuaciones, en vez de resolverlas.
- El diagrama de Forrester provee una visión gráfica de conjunto que muestra las interrelaciones entre las cantidades más directamente que lo que puede hacerlo un conjunto de ecuaciones. Esto es particularmente importante al estudiar fenómenos complejos con muchas propiedades interdependientes. (ver figura 3 y 4, caída en paracaída y caída de meteoro).
- Los modelos de sistemas complejos pueden construirse a partir de modelos simples por una secuencia de extensiones locales, sin que importe el orden particular de la secuencia. (ver figuras 3 y 4)

- Los nombres de las variables pueden cambiarse en cualquier momento, para aclarar su significado puesto que todas las ecuaciones afectadas se alteran automáticamente.

Al intentar modelar situaciones realistas y complejas en las que las soluciones estándar fallan, el estudiante se percató de que es esencial entender cualitativamente los conceptos y principios físicos aplicables.

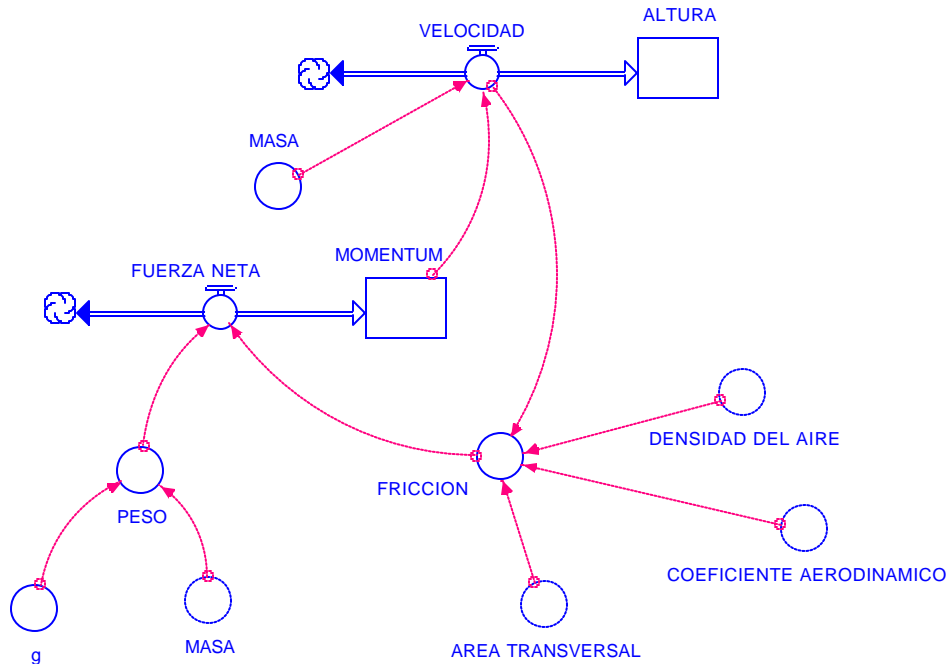


Figura 3 Salto en paracaídas. La parte superior consiste del modelo medular. Sobre el paracaidista actúan dos fuerzas : peso y fricción . El bucle de retroalimentación demuestra que la fricción es afectada por la velocidad.

El modelo del paracaidista se puede extender fácilmente a la caída de un meteoro. El cambio central es la adición de un segundo bucle de retroalimentación que conecta la densidad del aire con la altura (ver figura 4). En el paracaídas la densidad del aire se considera constante. La masa y la densidad del meteoro se modelan como parámetros separados para poder calcular las secciones transversales de meteoros de diferentes materiales (hierro y pétreos).

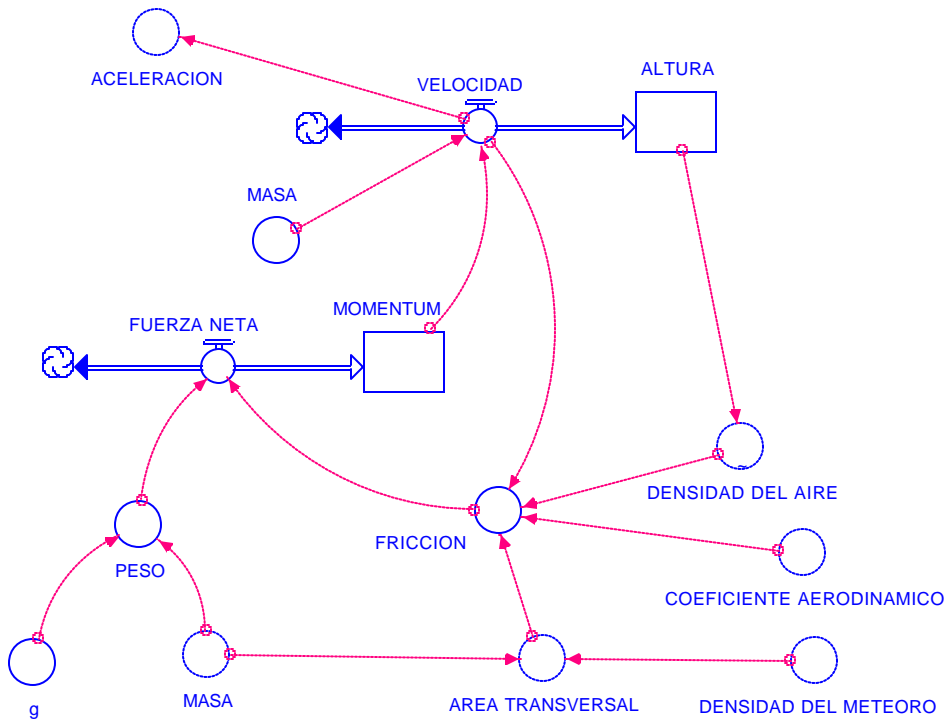


Figura 4 Diagrama de Forrester de la caída de un meteorito.

La figura 5 contiene las ecuaciones del modelo del meteorito según éstas son organizadas por el programa sistemodinámico STELLA:

ALTURA(t) = ALTURA(t - dt) + (VELOCIDAD) * dt
INIT ALTURA = 100000 {metros, aproximadamente el borde de la atmósfera}

INFLOWS:
VELOCIDAD = MOMENTUM/MASA { metros/seg}
MOMENTUM(t) = MOMENTUM(t - dt) + (FUERZA_NETA) * dt
INIT MOMENTUM = -10000{ velocidad inicial en kg/seg}*MASA { masa del meteorito en kilogramos}

INFLOWS:
FUERZA_NETA = PESO+FRICCIÓN { newton}
ACELERACION = DERIVN(VELOCIDAD,1){ Metros/seg²}
AREA_TRANSVERSAL = (3*MASA/(4*PI*DENSIDAD_DEL_METEORO))^(2/3)*PI { metro²}
COEFICIENTE_AERODINAMICO = 2 { Adimensional}
DENSIDAD_DEL_METEORO = 8000 {kg/m³;hierro [piedra:3500 kg/m³]}
FRICCIÓN =
.5*DENSIDAD_DEL_AIRE*COEFICIENTE_AERODINAMICO*AREA_TRANSVERSAL*VELOCIDAD*ABS(VELOCIDAD){ fricción con aire es antiparalela a la velocidad y es proporcional al cuadrado de la velocidad}
g = -9.78 {aceleración de gravedad en metros/seg²}
MASA = 500 { masa del meteorito en kilogramos }
PESO = MASA*g { newton}
DENSIDAD_DEL_AIRE = GRAPH(ALTURA)

velocidad (m/s)

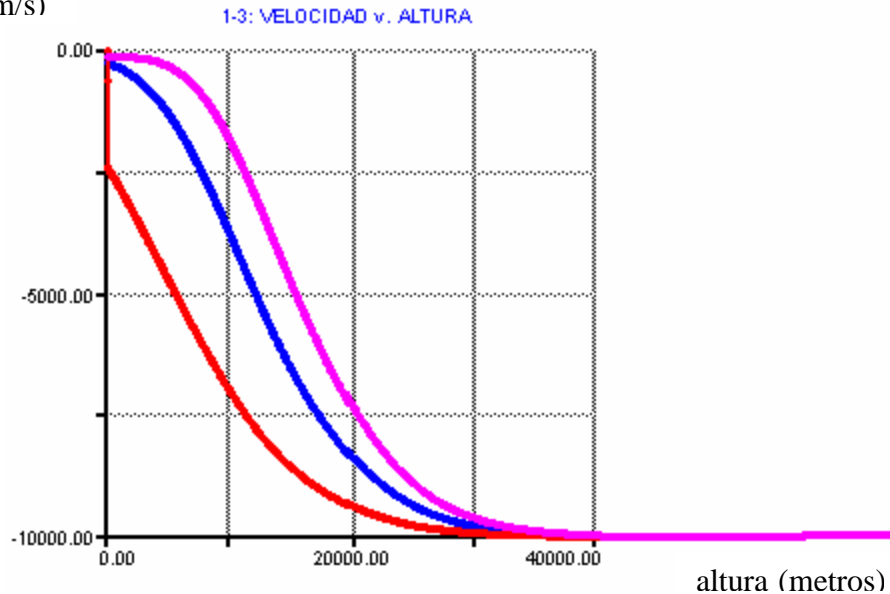


Figura 7 Velocidades de diferentes tipos de meteoros ,de izquierda a derecha:10ton de Fe, 500kg de Fe y 500Kg. de piedra. El meteorito de piedra cae casi a cero velocidad al llegar a la superficie. El meteorito grande golpea la tierra con un impacto enorme.

A los estudiantes les resulta estimulante desarrollar y simular este modelo pues hay incertidumbre sobre los resultados de la simulación. En la enseñanza convencional este fenómeno está excluido de los cursos introductorios debido a la complejidad de su descripción matemática. La dinámica de sistemas rompe con esa limitación y extiende el alcance de la enseñanza mas allá de la caída libre en el vacío.

LA DINAMICA DE SISTEMAS FOMENTA UN APRENDIZAJE CENTRADO EN EL ESTUDIANTE.

El aprendizaje es un proceso activo de construcción por el alumno de esquemas conceptuales. Esta perspectiva, llamada constructivista se ha convertido en el paradigma dominante sobre los procesos de aprendizaje. El profesor no puede transferir información a la mente del estudiante. Todo lo que el puede hacer es crear un ambiente adecuado de aprendizaje en el que el estudiante tenga la oportunidad y motivación de desarrollar sus ideas. Si queremos que el estudiante entienda (construya) ideas científicas debemos crear ambientes que fomenten este logro. La sistemodinámica ayuda a crear estos ambientes porque requiere que el alumno se involucre en un análisis cualitativo del problema (orientado por principios e hipótesis) antes de que pueda trabajar con las ecuaciones y datos numéricos (calibración del modelo según la terminología de la dinámica de sistemas). Las cantidades pertinentes se deben definir y la estructura conceptual del modelo se debe formular previamente a la definición de relaciones funcionales. De esa forma se introduce al estudiante a la estrategia que suelen utilizar los expertos.

En el proceso de construcción del modelo los estudiantes ponen de manifiesto sus ideas. Transfieren sus modelos mentales internos a modelos externos. La sistemodinámica reta al estudiante a que precise sus ideas, de modo que estas puedan discutirse con propiedad. El diagrama de Forrester propicia la discusión en clase o en grupos mas pequeños acerca de las ideas subyacentes a este mapa conceptual gráfico.

El modelaje sistemódinámico con ordenador permite **experimentar con ideas**. Los supuestos teóricos se visualizan mediante representaciones icónicas. Se clarifican las consecuencias de esos supuestos en relación con el comportamiento del sistema. La confrontación entre sus ideas intuitivas y las ideas validadas por la ciencia puede ayudar al estudiante a adquirir conciencia de la diferencia y a rectificar sus preconcepciones informales erróneas.

DESTREZAS DE PENSAMIENTO CONSTITUTIVAS DE LA SISTEMODINAMICA

¿Qué destrezas de pensamiento configuran el pensamiento sistemodinámico ? Barry Richmond ⁵ el creador del programa STELLA identifica seis destrezas de pensamiento constitutivas de la sistemodinámica(SD): ***pensamiento dinámico, pensamiento generalista, pensamiento sistémico, pensamiento estructural, pensamiento en bucles, pensamiento operativo y pensamiento científico.*** Todas ellas se articulan en la sistemodinámica para constituir un paradigma que se opone al paradigma de pensamiento dominante en nuestra cultura: pensamiento estático,especialista, individualista, deestructurado ,factorial, pasivo y anticientífico.

PENSAMIENTO DINAMICO O VS. PENSAMIENTO ESTATICO

Reaccionar a **estados** de cosas o a **eventos** se ha convertido en el modo dominante de actuar de nuestras instituciones políticas,educativas y en el foco de atención predominante de los medios de comunicación. Esto refleja un pensamiento congelado en un punto del tiempo(estados), dos puntos del tiempo(eventos) o un tiempo indeterminado(sucesion de estados de equilibrio) que designamos por pensamiento estático. La SD,en cambio, nos convoca a centrar nuestro pensamiento sobre **procesos**: trayectorias en el tiempo que manifiestan el devenir del objeto estudiado . Los estados del sistemas se explican como los resultados en instantes particulares de los procesos presentes en el sistema. Los estados de equilibrio en particular representan balances alcanzados en esos procesos o flujosy no su cesación, lo que implica una renovación o sustitución constante de los items que componen las variables de nivel o de estado del sistema.

PENSAMIENTO GENERALISTA VS PENSAMIENTO ESPECIALISTA

Es sabido que en nuestra cultura se sobrepone al especialismo y se menosprecia al generalismo, de quien muchos piensan es una especie extinta o en vias de extinción a raíz de la explosión histórica de la información de toda índole. La sistemodinámica apuesta al generalismo y reclama que todavía existe un nicho para ella en el espacio cultural ,desde el cual debería ser justipreciada nuevamente. Metafóricamente el pensamiento generalista alcanza una concepción definida del “bosque” ,aunque sea en virtud de o a expensas de una concepción borrosa de los “árboles”: una visión en lontananza y de conjunto del sistema en vez de una visión detallada y particularizada.En todo caso lo que se busca es potenciar la mirada del generalista y no la del especialista.

PENSAMIENTO SISTEMICO VS PENSAMIENTO INDIVIDUALISTA

Cuando pensamos que son las interacciones entre los componentes y no los componentes en sí mismos lo que determina el comportamiento del objeto estudiado, estamos pensando sistémicamente. En SD se suele decir que la estructura y en particular su estructura de bucles(ver mas adelante)determina la dinámica. Lo que esto quiere decir es que a través del modelo se busca una representación del objeto en la que la estructura interna del sistema(conjunto de relaciones causales o funcionales entre las variables) produzca los cambios del sistema. Por ende no son tampoco las condiciones iniciales del sistema ,ni factores exógenos los responsables de lo que sucede. Como el sistema es el “culpable”,cambiar el sistema es la solución, si se precisa una solución ;y la solución debe buscarse al interior del sistema mediante cambios de su estructura o parámetros internos.

PENSAMIENTO EN BUCLES VS PENSAMIENTO FACTORIAL

La tendencia espontánea de muchos aficionados o expertos al tratar de entender comportamientos en sistemas que rebasan cierto mínimo de complejidad es a pensar buscar una lista de factores ,relacionados o no entre sí,que inciden causalmente sobre la variable de estudio. Desde la perspectiva sistemodinámica el pensamiento multifactorial suele ser una acometida inmadura del problema, por que se pierde de vista un hecho fundamental de los sistemas dinámicos complejos: la existencia de bucles de realimentación. Los bucles son cadenas circulares de relaciones causales o funcionales entre variables. Para la SD, la estructura de bucles de realimentacion del sistema es donde debe buscarse la explicación cualitativa mas certera y fecunda de su dinámica.

PENSAMIENTO ESTRUCTURAL VS PENSAMIENTO DESTRUCTURADO

La SD concibe que todo sistema dinámico ,irrespective de su naturaleza concreta, tiene un estado conformado por sus propiedades acumulativas (acervos),expresables por variables de nivel. Los cambios de estados se deben a procesos expresables mediante variables de flujos. Llamaremos pensamiento estructural a la representación de un sistema como un conjunto articulado de niveles y flujos, complementados con variables auxiliares(convertidores) que representan variables intermediarias y parámetros del sistema. Determinar los niveles y flujos pertinentes de un sistema equivale a encontrar la estructura dinámica medular del sistema. El pensamiento estructural puede extenderse a los llamados sistemas blandos, que son aquellos que tienen propiedades de difícil o imposible medición, en contraposición de los sistemas duros en los que sus variables son todas operacionalizables en principio. Los niveles y sus flujos son los constituyentes esenciales de cualquier bucle de realimentación. El bucle canónico de longitud mínima se configura con un nivel y su flujo correspondiente. Pensar un sistema en términos de flujos y niveles es pues la destreza de pensamiento sistemodinámica fundamental . Habituarse a pensar de esta manera requiere práctica y esfuerzo sostenido para domar nuestro impulso natural hacia un pensamiento destructurado que no reconoce la posibilidad de estructurar en niveles y flujos cualquier clase de sistema dinámico.

PENSAMIENTO OPERATIVO VS PENSAMIENTO PASIVO

Desde sus orígenes vinculados a la ingeniería y a la administración de empresas la SD no solo pretende entender como se comporta el sistema pasivamente (sin interferir con él), sino que también se plantea como alterar ese comportamiento operando sobre la estructura y parámetros del sistema. Por eso al simular el sistema se generan escenarios alternativos y se estudia la sensibilidad del sistema a cambios con el fin de identificar aquellos parámetros llamados de apalancamiento (leverage), que al variarse dentro de un margen razonable, alteran significativamente el devenir del sistema. Pensar operativamente conlleva hacerse las preguntas: ¿Qué hubiese sucedido si?; ¿Qué podría suceder si?

PENSAMIENTO CIENTIFICO VS PENSAMIENTO ACIENTIFICO

Finalmente, y no por ello menos importante, la Sistemodinámica es un componente del pensamiento científico que por su naturaleza hipergeneral tiene una intersección no nula con la ontología y epistemología de la ciencia. Por consiguiente los modelos SD deben ser contrastables empíricamente y conceptualmente. Esto significa que los modelos SD deben confrontar sus escenarios con los datos empíricos disponibles para su validación o refutación empírica y buscar su compatibilidad con el mejor conocimiento que nos brinda la ciencia natural o social.

REFLEXION FINAL

Es plausible plantear que el mundo que hemos creado como consecuencia del modo de pensamiento que ha dominado hasta el presente ha generado problemas insolubles al pensamiento que lo suscitó. En la medida que ese pensamiento dominante está en oposición al pensamiento SD, cabe al menos especular sobre el valor potencial que tendría la difusión masiva de ese pensamiento a través de todo el sistema educativo formal desde el nivel preescolar hasta el nivel universitario posgraduado. Esa fue y es la utopía realizable no solo de J. Forrester ,fundador de la SD; sino de muchos de los que creemos como Martí que ser maestro es “dar vuelo a las alas de la razón”.

Referencias

1. System Dynamics and the Lessons of 35 Years, Jay Forrester, Chapter for The Systemic Basis of Policy Making ,edited by Kenyon B. De Greene,M.I.T. Press,1991.
2. Alternative Frameworks and Science Education, R. Duit and H. Pfundt,Third edition. Kiel, Institute for Science Education,1991.
3. Pseudociencia y Cultura de Masas Partes 1y2.J. Medín y E. Nuñez, Milenio,Vol.4, p 9-59,2000.
4. Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century, Jay Forrester,Keynote Address for Systems Thinking and Dynamic Modeling Conference for K-12 Education, 1994. Ver en INTERNET las siguientes direcciones: [HTTP://WWW.HPS-INC.COM](http://WWW.HPS-INC.COM) y WWW.SYSDYN.MIT.EDU.
5. The Thinking in Systems Thinking; Barry Richmond , Pegasus Communications,2000

APENDICE

PRONTUARIO DE SISTEMODINAMICA

I. TITULO Y CODIFICACION: SISTEMODINAMICA INTD 4045

II. CREDITOS : TRES(3)

III. PREREQUISITOS : PRECALCULO

IV. DESCRIPCION:

El curso introduce al participante al método interdisciplinario conocido como Dinámica de Sistemas (Sistemodinámica) para elaborar ,calibrar , simular,analizar y presentar modelos dinámicos sobre sistemas sean estos de índole física ,biológica,psicológica o social . Los estudiantes aprenderan a elaborar y simular modelos de interés disciplinario y multidisciplinario utilizando el programa STELLA (Structural Thinking Experiential Learning Laboratory with Animation) que implementa el enfoque sistemodinámico. Se analizaran los éxitos y límites del enfoque y su trasfondo filosófico e histórico. Se presenta la Sistemodinámica como una de las herramientas más fecundas para sintetizar conocimientos surgida en las postrimerías del siglo veinte.

V.TEXTOS DEL CURSO:

1. AN INTRODUCTION TO SYSTEM THINKING; B. RICHMOND,HPS 2002
2. MODELING DYNAMIC SYSTEMS, B. HANNON&M. RUTH,2ed,SPRINGER,2001
3. MATERIALES DISTRIBUIDOS POR PROFESOR

VI. OBJETIVOS DEL CURSO :

Al completar el curso ,el estudiante deberá ser capaz de hacer lo siguiente:

1. Identificar los cuatro elementos constitutivos de todo sistema dinámico
2. según la sistemodinámica: NIVEL,FLUJO,CONVERTIDOR Y CONECTOR.
3. Comprender los supuestos fundamentales del modo sistemodinámico de pensar la realidad.
4. Construir un DIAGRAMA DE FORRESTER(mapa conceptual icónico de un sistema dinámico)
5. Analizar cualitativamente la estructura de retroalimentación de un Diagrama de Forrester con la ayuda de STELLA.
6. Calibrar un Diagrama de Forrester de un sistema dinámico.
7. Simular y ejecutar análisis exploratorios de un modelo sistemodinámico calibrado.
8. Ejecutar un Análisis de Sensibilidad del comportamiento dinámico de los modelos.
9. Construir un Panel de Simulaciones(“simulador de vuelo”) de un modelo dinámico
10. Reconocer la posibilidad y deseabilidad de integrar el modelaje sistemodinámico al estudiar sistemas dinámicos,irrespective de su naturaleza física ,biológica,psicológica o social.

VII. PROGRAMACION DEL CURSO

CLASE	PAG.	ESTRATEGIA	TEMATICA
1	1:1-21	conferencia	Introducción al modelaje sistemodinamico (SD)
1	2:1-14	conferencia	Motivación y trasfondo de la SD
2-3-4	MO*	taller compu.	Introducción rápida a la construcción de modelos SD
5	MO*	discusión	Concepto de Modelo , Sistema Dinámico y Simulación
6	3:1-14	discusión	Elementos de construcción de modelos: Nivel y Flujo
6	3:14-28	discusión	Elementos de construcción: convertidor , conector y nube
7	9:1-11	discusión	Clases de variables: variables duras y variables blandas
7	4:1-12	discusión	Concepto de Diagrama de Forrester
8	2:9-13	discusión	Pensamiento multifactorial Vs. Pensamiento sistémico
8	5:1-7	discusión	Concepto de Bucle de Realimentación
9	4:1-3	taller compu.	Arquetipos dinámicos: crecimiento exponencial
10	4:4-5,10	taller compu.	Arquetipos dinámicos: decaimiento exponencial
11-12	6:1-5	taller compu.	Arquetipos dinámicos: crecimiento logístico
13	6:6-7	taller compu.	Arquetipos dinámicos: traspaso y colapso
14-15	6:8-11	taller compu.	Arquetipos dinámicos: oscilación regular o caótica
16	7:1-2	discusión	Esquema de Método iterativo de la SD
16	7:1-6 8:1-12	discusión	Método de la SD: Descripción de sistema problemático (Conducta de referencia, Horizonte temporal , Hipótesis, Frontera del sistema y Propósito del modelo)
17	7:6-13 8:13-17	taller compu.	Método de la SD: Construcción de Diagrama de Forrester (Selección de variables, relaciones y su documentación)
18	7:16-18	taller compu.	Método de la SD: Análisis cualitativo de Diagrama (Identificación de bucles de realimentación)
19	7:30-33 8:18-20	taller compu.	Método de la SD: Calibración de Diagrama de Forrester (Inicialización, parametrización ,funciones y unidades)
20	7:13-21 8:22-24	taller compu.	Método de la SD: Simulación del modelo calibrado (Construcción de escenarios base y alternativos)
21	7:22-25 8:22-27	taller compu.	Método de la SD: Contrastación empírica del modelo (Ajuste estadístico de datos, Cotejo de realismo)
22	7:21-22 8:22	taller compu.	Método de la SD: Análisis de sensibilidad del modelo (Respuesta del modelo a cambios en parámetros, supuestos, frontera, nivel de agregación y choques)
23	MO*	discusión	Método de la SD: Síntesis de resultados del modelo (Formulación de conclusiones y problemas abiertos)
24-25	7:25-29 8:28-39	taller compu.	Método de la SD: Visualización del Modelo (Construcción de panel de control de simulaciones)
26-27	MO*	conferencia	Resumen del curso: Guía al pensamiento SD
28-29		presentaciones	Presentación de Modelos por Estudiantes del Curso

MO*= material escrito a ser distribuido al estudiante

VIII. CRITERIOS DE EVALUACION :

Portafolio (CD) de Modelos didácticos estudiados en clase : 50% de nota

Presentación oral y escrita de Modelo construido por estudiante : 50% de nota

Curva de notas:

100-85 : A 84-70 : B 69-50 : C 49-0 : F

IX. PROFESOR: JOAQUIN MEDIN MOLINA, OFICINA P-44

X. BIBLIOGRAFIA:

1. Cybernetics, Norbert Wiener, MIT Press, 1948.
2. Industrial Dynamics, Jay W. Forrester, MIT Press, 1961.
3. Urban Dynamics, Jay W. Forrester, MIT Press, 1969.
4. World Dynamics, Jay W. Forrester, Wright Allen Press, 1971.
5. Principles of Systems, Jay W. Forrester, Wright Allen Press, 1969.
6. The Limits to Growth, D.H. and D.L. Meadows, et.al, Mentor, 1972.
7. Beyond The Limits, D.H. and D.L. Meadows, et.al, Chelsea G.P., 1992.
8. The Global Citizen, D.H. Meadows, Island Press, 1991.
9. Feedback Thought in Social Science and Systems Theory, G.P. Richardson, University of Pennsylvania Press, 1991.
10. Dinámica de Sistemas, S. Martinez & A. Requena, Alianza Ed., 1987.
11. Study Notes in System Dynamics, M.R. Goodman, MIT Press, 1980.
12. Introducción a la Dinámica de Sistemas, J. Aracil, Alianza Ed., 1983.
13. Modeling Dynamics Biological Systems, B. Hannon, M. Ruth, Springer, 1997.
14. Modeling Dynamic Economic Systems, B. Hannon, M. Ruth, Springer, 1997.
15. Dynamic Modeling in The Health Sciences, J.L. Hargrove, Springer, 1998.
16. Modeling and Simulation in Science and Mathematics Education, W. Feurzeig & Nancy Roberts, Springer Verlag, 1999.
17. Dynamic Modeling of Environmental Systems, M. Deaton & J.J. Winebrake, Springer Verlag, 2000.
18. Dynamic Modeling, 2 ed., B. Hannon, M. Ruth, Springer Verlag, 2001.
19. Modeling The Environment, A. Ford, Island Press, 1999.
20. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, J. D. Sterman, Mc-Graw Hill, 2000.
21. Modeling for all Scales, H.T. & E. Odum, Academic Press, 2000.
22. Reality Rules: Picturing the World in Mathematics Vol 1 y 2, J. Casti, Wiley, 1991.
23. Complexification, John L. Casti, Harper Collins, 1994.
24. Would-be Worlds: How Simulation is Changing the Frontiers of Science?, John L. Casti, Wiley, 1997.
25. Emerging Syntheses in Science, Ed. D. Pine, Addison-Wesley, 1988.
26. Evolución: La Gran Síntesis, Ervin Laszlo, Espasa Calpe, 1988.
27. Los Sueños de la Razón, Heinz Pagel, Gedisa, 1991

X. INTERNET

<http://www.sysdyn.mit.edu>, <http://www.std.com>, <http://www.hps-inc.com>