

# INGENIERIA DE SISTEMAS -REALIDAD VIRTUAL Y APRENDIZAJE -

## VII Congreso Internacional De Informática En La Educación

Hugo Hernando Andrade Sosa, Ximena Marcela Navas Garnica\*

handrade@uis.edu.co

**Resumen:** Con frecuencia, desde la Informática educativa o desde la Ingeniería de sistemas, se presentan útiles para dinamizar el proceso de aprendizaje, pero no siempre se es explícito en el modelo de aprendizaje que se espera dinamizar, ni se sustenta el porqué se afirma que dicho útil informático cumple con tal propósito.

Este artículo esboza una propuesta para el desarrollo y uso de realidades virtuales, basadas en modelos matemáticos de simulación desarrollados desde una perspectiva sistémica y con el lenguaje de la Dinámica Sistemas; en el contexto de un modelo de aprendizaje determinado por la transformación de los modelos mentales de aprendiz. Además, se hace referencia a un caso desarrollado por estudiantes de Ingeniería de sistemas.

### INTRODUCCIÓN

El presente trabajo pretende ser una muestra de cómo la ingeniería de sistemas, entendida ésta como expresión del Pensamiento Sistémico, no sólo como ciencias de la computación, puede aportar, con su enfoque y útiles informáticos, a los procesos de aprendizaje y a la experimentación y diseño de políticas de intervención en fenómenos complejos; como lo son, por excelencia, los fenómenos sociales.

En un primer apartado se presenta la idea general de la percepción de la realidad como sistemas, la expresión de dicha apreciación en términos de los modelos mentales, la posibilidad

de que los modelos mentales se puedan formalizar, para, con el soporte computacional apropiado, construir lo que se denomina mundos virtuales o realidades virtuales. Finalmente este apartado muestra cómo el proceso de construcción de la realidad virtual y el uso de la misma para simular la dinámica del fenómeno y las variaciones de su comportamiento frente a acciones de intervención, hace posible un proceso de transformación de los modelos mentales, y por consiguiente el aprendizaje profundo.

Un segundo apartado señala cómo la ingeniería de sistemas, con diferentes enfoques, lenguajes y metodologías, puede dar soporte al proceso de modelamiento matemático y simulación para construir los mundos virtuales.

El tercer apartado hace referencia a una experiencia de, con el fenómeno del Cáncer, el cual constituye un ejemplo de cómo la Dinámica de Sistemas, lenguaje sistémico de modelamiento, puede abordar el proceso de construcción de la realidad virtual y a su vez constituirse en importante útil de aprendizaje.

Después de las conclusiones, presentadas como cuarto numeral, se señalan las referencias bibliográficas citadas.

## **1. LA INGENIERÍA DE SISTEMAS Y LA CONSTRUCCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE LAS IDEAS, EN EL PROCESO DE APRENDIZAJE.**

Para abordar el planteamiento fundamental de este apartado, la idea de aprendizaje como transformación de los modelos mentales, es necesario, presentar primero los conceptos de realidad y sistema, junto con los de modelos mentales, modelos formales y realidad virtual.

### **1.1 REALIDAD Y SISTEMA:**

---

\*\* Esta Comunicación se presenta en nombre de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga - Colombia. Por miembros del Grupo SIMON de Investigaciones en Modelos y Simulación de la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de esta Universidad.

La idea de realidad y percepción, imagen mental, la diferencia entre las dos y la existencia o no de la una al margen de la otra, ha marcado importantes discusiones filosóficas en la historia de la humanidad. Aquí se asume una postura que, aunque la denominaremos sistémica, no pretende ser la única al interior del movimiento sistémico, donde el sólo concepto de sistema es objeto de diferentes definiciones.

Primero que todo se asume la existencia de la realidad como complejidades en permanente cambio, de las cuales, a menudo, el sujeto hace parte. Se considera que el hombre, en su afán de explicar dichas complejidades las puede describir como si fueran sistemas, asumiendo sistema como un conjunto de elementos en interacción entre si y con su medio, de comportamiento y estructura variable.

En cuanto al comportamiento se dice que es dinámico y explicable en función, fundamentalmente, de la estructura del sistema, malla de relaciones de influencia entre los diferentes elementos. Esta malla es resultado de considerar los elementos endógenos del sistema en relaciones en las cuales cada uno es causa y efecto, creando de dicha manera cadenas cerradas de interacción entre dos o más elementos, denominadas ciclos de realimentación; ciclos mediante los cuales se explica la dinámica de comportamiento del sistema. Las relaciones y elementos se completan al considerar los elementos exógenos los cuales, para efectos del sistema en estudio, constituyen o sólo causas o sólo efectos, sin conformar cadenas cerradas de relaciones. La figura #1 ilustra las ideas de sistema, estructura, ciclos de realimentación, elementos endógenos y elementos exógenos.

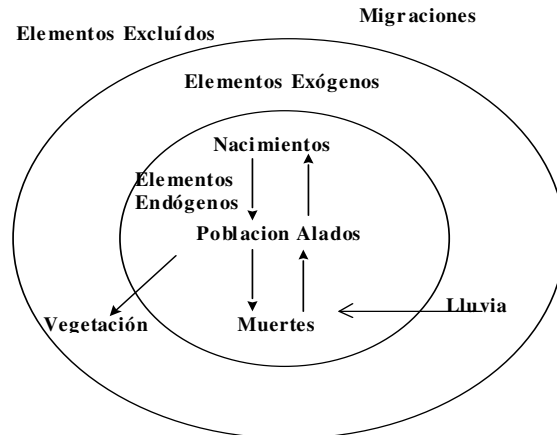


FIGURA # 1. SISTEMA: ELEMENTOS Y REACCIONES.

## 1.2 MODELOS MENTALES.

“El concepto de *modelo mental* engloba todas aquellas nociones que un individuo puede tener sobre sus objetivos o intereses y sobre la red de causas y efectos de la realidad. Es decir, el modelo mental se corresponde con un punto de vista individual frente a la realidad. En condiciones naturales de aprendizaje, estos modelos mentales permanecen implícitos. El individuo no tiene consciencia de su modelo mental. El concepto de modelo mental puede generalizarse para un colectivo de personas. En tal caso, el modelo mental simboliza aquellas nociones compartidas por el colectivo acerca de los intereses y de la causalidad.” [1]

La anterior idea de modelo mental, tomada del artículo titulado “Una revisión crítica del aprendizaje organizacional con dinámica de sistemas”, es la noción de modelo mental que este documento asume y de la cual se deriva que todas las ideas de las personas están organizadas en modelos mentales, aún la no consciencia de los mismos por parte de sus “propietarios”. O que todas las apreciaciones de la realidad (opiniones y conocimiento) y las acciones que las personal ejecutan sobre la realidad misma, están mediadas por sus modelos mentales. Más, la idea de aprendizaje formal que aquí se desarrolla, derivándola del mismo artículo anteriormente citado, corresponde al proceso en el que la persona hace explícitos sus modelos mentales transformándolos y enriqueciéndolos.

## 1.3 MODELOS FORMALES Y REALIDAD VIRTUAL

“La sola necesidad de vivir, interacción con nuestro hábitat natural, exige modelar la realidad, al menos con modelos mentales, y cuando el hombre no tan sólo vive sino que busca explicaciones a los múltiples problemas que la vida misma le plantea y lucha por lograr adaptar su medio para bien de las futuras generaciones (aunque no siempre lo ha hecho para bien), debe pasar a la definición formal de sus modelos y, si fuese posible, a su formulación matemática.”[2]. Del anterior planteamiento se desprende la idea de modelo formal como la explicación e interpretación de los fenómenos mediante postulados estructurados en un todo definido claramente y compatible por una comunidad. Cuando dichos modelos están formulados con la rigurosidad y verificabilidad que la ciencia actual reconoce, se denominan conocimiento científico. Igualmente es de destacar que los modelos pueden tener diferentes niveles de formalización, siendo el matemático uno de los más rigurosos y aceptables por la comunidad científica.

Cabe resaltar la relación entre modelos mentales y modelos formales, más los segundos no existen sin los primeros y a todo modelo formal le antecede un modelo mental y contiene los modelos mentales de sus creadores.

Cuando mediante el uso de los modelos formales, es posible representar la realidad descrita o, más explícitamente, describir el comportamiento del fenómeno modelado, bajo diferentes condiciones; se dice que el modelo puede simular el fenómeno y a esta representación, con la ayuda del computador, se le denomina realidad virtual. La idea de realidad virtual que aquí se considera, corresponde al comportamiento simulado, y no a imágenes dibujadas y con comportamiento parecido a la realidad. El comportamiento se deriva del modelo matemático, mediante la solución del mismo para cada instante de tiempo, de tal forma que se pueda describir las trayectorias temporales de las variables contempladas en el modelo. La idea de realidad virtual puede asociarse a la de los dibujos, cuando la dinámica de comportamiento de dichos dibujos está determinada de manera directa por los modelos matemáticos que la describen y permiten simularla. Es decir se asume que a toda realidad

virtual corresponden modelos matemáticos (entendido matemático no sólo como ecuaciones, pueden ser reglas de movimiento, interacción, desarrollo, etc. y objetos que actúan en función de dichas reglas [3].

#### 1.4 PROCESO DE APRENDIZAJE.

En este apartado se propone describir el proceso de aprendizaje formal mediante un sistema dinámico que integra el aprendizaje natural, que se da actuando sobre la realidad, y el aprendizaje “artificial”, el que se desarrolla sobre una realidad virtual. Finalmente se señala el rol del modelamiento, construcción de realidades virtuales, en la integración de los dos tipos de aprendizajes y garantía de un aprendizaje profundo.

##### *1.4.1 Aprendizaje natural :*

Como ya se planteó, al presentar la idea de modelo mental, aquí se asume aprendizaje como el proceso de transformación de los modelos mentales del aprendiz, modelos que a su vez le orientan la comprensión y uso apropiado del conocimiento formal. Es decir se asume que un conocimiento es propio del individuo cuando hace parte de sus modelos mentales y guían su intervención en el mundo. La figura #2 corresponde al sistema dinámico de aprendizaje natural, sistema, porque el proceso de aprendizaje se describe mediante cuatro componentes relacionados, y dinámico, porque las relaciones entre los elementos conforman una estructura de realimentación que genera dicha dinámica. Esta noción de aprendizaje, como ciclo de realimentación, la desarrolla Serman en detalle con base en los planteamientos de importantes teóricos del aprendizaje organizacional como Argyris y Schon [4].

En la estructura descrita por la figura #2 son visibles dos ciclos de realimentación, el ciclo 1 ( mundo real -> información de realimentación -> decisiones -> mundo real) explica la dinámica de aprendizaje natural, superficial e inconsciente, fruto de una dinámica de prueba y error. En este tipo de aprendizaje la persona no ha definido explícitamente el modelo mental que organiza la idea del mundo real sobre el cual actúa y menos las ideas mediante las cuales

percibe la información de realimentación para procesarla y tomar las decisiones pertinentes para afectar el mundo real u orientarlo a un comportamiento deseado, es decir actúa pero sin develar el modelo mental que posee sobre el mundo real.

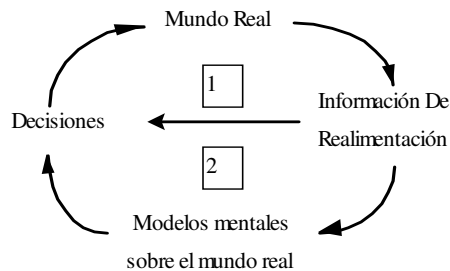


FIGURA #2. CICLOS DE APRENDIZAJE "NATURAL"

El ciclo 2, (mundo real -> información de realimentación -> modelos mentales sobre el mundo real -> decisiones -> mundo real), describe la dinámica de aprendizaje natural, profunda y consciente. En esta dinámica los modelos mentales son explícitos y se van construyendo y reconstruyendo en el proceso de aprendizaje continuo del ser humano. Cuando este ciclo se presenta la persona posee, explícitamente definido, el modelo mental de la realidad que pretende explicar e intervenir. Este ciclo de la dinámica de aprendizaje es el que esperaríamos promover en un proceso formal de aprendizaje profundo, y es el aprendizaje que posibilita los cambios más radicales, rápidos, reales y duraderos. Cuando actúa solo el ciclo 1 se corre el riesgo que la persona se acomode a una situación particular y actúe por dicho acomodo y no porque asuma para sí la nueva idea como la más apropiada.

Es de anotar que el sólo modelo mental ya explícitamente definido corresponde a cierto nivel de formalización, aunque sigue siendo modelo mental en la medida que corresponde al punto de vista del sujeto.

#### 1.4.2. Aprendizaje artificial:

El aprendizaje artificial sigue siendo tan real como el natural, es aprendizaje. El apellido de artificial no se le da por su carácter sino por el hecho de que se logra interactuando no sobre la realidad natural, sino sobre una realidad virtual (artificial). La figura #3, explica el carácter

artificial de este aprendizaje al mostrar cómo el proceso de experimentación se da sobre una realidad virtual y no sobre la realidad misma. Aquí se presentan los mismos dos ciclos descritos al plantear el aprendizaje natural.

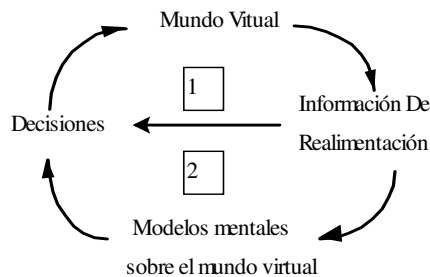


FIGURA #3. CICLOS DE APRENDIZAJE “ARTIFICIAL”

El sólo hecho de experimentar sobre una realidad virtual no garantiza que se presente un aprendizaje profundo o de transformación de los modelos mentales del aprendiz, puede ser que usando la realidad virtual se oriente el proceso solo sobre el ciclo 1, en procura de un aprendizaje por prueba y error y uno que genere una visión profunda de la realidad en estudio, reflejada ésta en los modelos mentales explícitamente definidos [5].

#### 1.4.3. Aprendizaje artificial y modelamiento participativo.

Para garantizar que el proceso de aprendizaje “artificial” haga explícitos los modelos mentales que subyacen a las decisiones y que describen y explican la dinámica de la realidad en estudio, orientando el proceso de adquisición y tratamiento de la información de realimentación para la toma de decisiones; se propone el recurso del modelamiento participativo; modelamiento, porque es la construcción de la realidad virtual mediante modelos formales y participativo, porque se prefiere en grupo y porque se desea resaltar la participación directa del aprendiz en dicha labor. La figura #4 señala este modelamiento e integra el sistema de aprendizaje natural con el “artificial”.

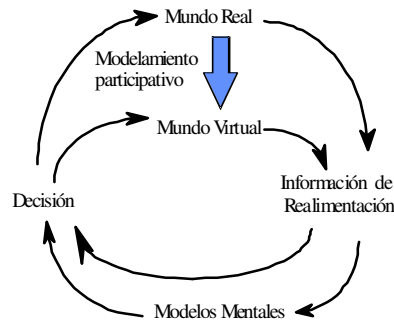


FIGURA #4. APRENDIZAJE Y MODELAMIENTO PARTICIPATIVO

## 2. LA INGENIERÍA DE SISTEMAS Y LA CONSTRUCCIÓN DE LA REALIDAD VIRTUAL.

La ingeniería de los sistemas integra una serie de aportes filosóficos, de lo que se ha llamado teoría general de sistemas o pensamiento sistémico, y los aplica al tratamiento de complejidades con la ayuda de las matemáticas y de lenguajes y metodologías que reflejan su mayor potencialidad cuando se utilizan en entornos computacionales.

### 2.1 MODELAMIENTO MATEMÁTICO.

Ya, en el apartado 1 de este documento se definieron los conceptos de modelo mental y modelo formal junto a la importancia de estos últimos en la construcción de las realidades virtuales, útiles informáticos de gran valor en la dinámica de aprendizaje “artificial”. La ingeniería de sistemas desarrolla y aplica variados enfoques, lenguajes y metodologías de modelamiento.

El modelamiento matemático es orientado por dos enfoques fundamentales. El enfoque Conductista que intenta describir y explicar el comportamiento en función del comportamiento mismo, y el enfoque Estructuralista, el cual asume una postura sistémica para describir y explicar el comportamiento de la realidad en función de la estructura de relaciones causales que la explican.

Existen diversos lenguajes y metodologías de enfoque Estructuralista, la que aquí se asume y que es coherente con los planteamientos hechos en todo este documento, es la dinámica de sistemas, lenguaje sistémico para asumir la realidad y metodología de

modelamiento matemático que nos orienta la construcción de los modelos formales de simulación que fundamentan las realidades virtuales.

## 2.2 MODELAMIENTO CON DINÁMICA DE SISTEMAS

En la conferencia de modelamiento y simulación ya citada, [6] Andrade y Sotaquirá señalan :  
“La dinámica de sistemas orienta el proceso de construcción de un modelo matemático estructural de un fenómeno, y posibilita simular su comportamiento dinámico en el transcurrir del tiempo, o de otra variable independiente. En general, el proceso de simulación proporciona el conjunto de valores de las variables en cada instante; esto es posible porque el modelo matemático y estructural involucra los elementos (variable y parámetros) fundamentales del fenómeno y las interacciones entre ellos. A su vez, las interacciones y las leyes que las rigen permiten determinar la variabilidad de cada variable en función de las demás; de los parámetros, del instante y de las condiciones iniciales; y, así, observar los efectos de la realimentación, base del comportamiento dinámico del fenómeno.






La dinámica de sistemas es una metodología que, inspirada en la teoría general de sistemas y en la teoría de los procesos de realimentación, la cibernética, guía mediante un conjunto de pasos bien definidos el proceso de construcción formal de modelos matemáticos. Este conjunto de pasos los resume el profesor Javier Aracil en su libro "Introducción a la Dinámica de Sistemas [7]", así: "En primer lugar se observan los modos de comportamiento del sistema real para tratar de identificar los elementos fundamentales del mismo; por ejemplo los síntomas de una perturbación. En segundo lugar, se buscan las estructuras de realimentación que puedan producir el comportamiento observado. En tercer lugar, a partir de la estructura identificada, se construye el modelo matemático de comportamiento del sistema en forma idónea para ser tratado sobre un computador. En cuarto lugar, el modelo se emplea para simular, como en un laboratorio, el comportamiento dinámico implícito en la estructura identificada. En quinto lugar, la estructura se modifica hasta que sus componentes y el






comportamiento resultante coincidan con el comportamiento observado en el sistema real. Por último, en sexto lugar, se modifican las decisiones que puedan ser introducidas en el modelo de simulación hasta encontrar decisiones aceptables y utilizables que den lugar a un comportamiento real mejorado”

Dos útiles son componentes fundamentales de la dinámica de sistemas, los diagramas de influencia, de los cuales ya se ha dado una idea al plantear la dinámica de aprendizaje, y los diagramas de Forrester, los que corresponden a un modelo matemático basado en ecuaciones diferenciales lineales o no lineales.

Al hacer explícitas todas las ecuaciones que rigen las relaciones entre los diferentes elementos del diagrama de Forrester, se obtiene un modelo matemático de simulación que, con la ayuda del computador, puede describir las trayectorias temporales de cada una de las variables. A un ejemplo de uso de esta metodología se hace referencia en el numeral 3. Los elementos fundamentales de los diagramas de Forrester se describen en la tabla #1:

TABLA # 1. SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN DIAGRAMAS DE FORRESTER.

	Nube: Representa una fuente o pozo. Se interpreta como un nivel inagotable y que no tiene interés
	Nivel: Es la variable de estado; representa una acumulación de flujos
	Flujo: Es la variación de un nivel; representa un cambio en el estado del sistema
	Canal de Material: Es la transmisión de una magnitud física que se conserva
	Canal de Información: Es la transmisión de información que no se necesita conservar

	Variable Auxiliar: Cantidad con cierto significado para el modelador (que no siempre tiene un significado físico en el mundo real) y con un tiempo de respuesta instantáneo
	Parámetro: Es un elemento del modelo independiente del sistema o una constante propia del sistema que no varía durante una corrida de simulación
	Variable Exógena: Variable cuya evolución es independiente de las del resto del sistema. Representa una acción del medio sobre el sistema
	Retardo: Es un elemento que simula retrasos en la transmisión de información o de material entre los elementos del sistema
	No-Linealidad : Representa una relación de no linealidad entre dos variables. <sup>a</sup>

## 2.3 SOFTWARE DE SIMULACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS.

Los recursos computacionales duros, máquinas de cómputo, y los recursos blandos, software, hacen viable el proceso de modelamiento y simulación con dinámica de sistemas, destacando que en esta metodología el modelamiento utiliza la simulación como un soporte de modelamiento mismo, en la medida que orienta y permite validar los prototipos del modelo que se va construyendo.

Entre mayores sean las capacidades del recurso computacional y mejores los servicios que brinde el software, más el modelador se podrá dedicar al componente creativo que exige el modelamiento y que fundamentalmente se encuentra en la tarea de hacer explícitos, en un proceso de construcción y reconstrucción, los modelos mentales; y a la tarea de formalización matemática . La herramienta software en español con la cual trabaja el grupo SIMON y que, junto otras cuatro en inglés, facilita el proceso de modelamiento con dinámica de sistemas, se

<sup>a</sup> El uso del símbolo empleado para representar las No-Linealidades, se sugiere en Martínez y Requena 1986, y no corresponde a la notación original de Forrester.

construyó en la Universidad Industrial de Santander, se denomina Evolución y actualmente circula la versión 2.0a.[8]. Este software apoya fundamentalmente la formalización y de simulación.

### **3. MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UN CASO.**

Las limitaciones de espacio propias de esta ponencia, no permite presentar a los lectores una síntesis de un caso que ilustre la propuesta que surge de los anteriores planteamientos. Invitamos a visitar la página del grupo SIMON de Investigaciones: <http://www.uis.edu.co/investigacion/paginas/grupos/simon/indexie.html>, en la cual encontrarán diferentes artículos asociados al pensamiento de Sistemas y al modelamiento y la simulación con Dinámica de sistemas y con Autómatas celulares. En particular allí está a disposición el presente artículo bajo el título - INGENIERÍA DE SISTEMAS - REALIDAD VIRTUAL Y APRENDIZAJE - EL CASO DEL CÁNCER DE MAMA -. Este artículo como el mismo título plantea, ilustra la propuesta presentando de manera resumida un ejemplo de modelamiento y simulación con dinámica de sistemas. Primero se manifiestan los propósitos del ejemplo para que se lea con esta orientación y se aprecie o critique en función de la intencionalidad que estos propósitos dejan ver. A continuación se da una visión general del fenómeno del cáncer de mama, a manera de modelo mental, que determina el modelo formal que en el numeral 3.3, de dicho artículo, se desarrolla mostrando el diagrama de Forrester al cual, en la rutina de simulación, está asociado al modelo matemático basado en ecuaciones diferenciales. Finalmente se especifican tres escenarios de simulación y se muestra el comportamiento del fenómeno bajo cada uno de ellos.

Es de señalar que aunque este modelo, así presentado, permite una descripción general del fenómeno y el usuario, orientado por dicho conocimiento, puede experimentar acciones sobre la realidad virtual que le describe; una presentación más detallada, donde se muestre el proceso de desarrollo del modelo, mediante prototipos de complejidad creciente, permitiría ver la forma como se van estructurando y/o transformando los modelos mentales de

los modelistas, e igualmente daría mayor información del porqué de los experimentos que con el modelo los usuarios se inclinan a desarrollar y de la relación con el modelo de aprendizaje profundo que este documento propone.

### 3.1. BREVE SÍNTESIS DEL MODELO Y SIMULACIÓN DEL CÁNCER DE MAMA.

Esta enfermedad, la mayoría de las veces es mortal, se inicia cuando una célula se divide perdiendo el control de sus mecanismo de multiplicación y empieza a proliferar actuando rápida y eficazmente para destruir primero el tejido donde se inicia y luego expandirse al resto del organismo en un proceso conocido como Metástasis.

El modelo de simulación se desarrollo con la idea de que el fenómeno en estudio corresponde a una enfermedad que más que definible como multicausal, se presenta como resultado de un traumatismo o desequilibrio sistémico, manifiesto en la población de células de la glándula mamaria, desequilibrio generado por múltiples causas y condiciones, que frente a diversos factores de riesgo ( condiciones de vida ) pueden conducir al surgimiento de la enfermedad [9]. La figura #5 esquematiza el anterior planteamiento y describe de manera general los componentes del modelo.

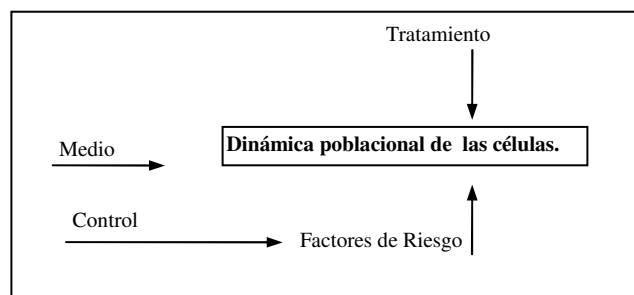


FIGURA #5. ESQUEMA GENERAL DEL MODELO

El modelo se basa en la dinámica de crecimiento de la población de células en la glándula mamaria, representando un desarrollo normal, o un crecimiento excesivo como causante de la aparición del cáncer mamario, en la figura #6 se presenta el diagrama de flujo–nivel de uno de los prototipos desarrollados.



sanas (PCS) va disminuyendo por la acción de la enfermedad y como la población total de células de la glándula mamaria (PTCGM) y la de células cancerosas (PCC) disminuyen por la acción de la radioterapia y la quimioterapia, la cual destruye células cancerosas y algunas sanas.

**Mujer vulnerable expuesta a los diferentes factores de riesgo  
Se somete a radioterapia y quimioterapia a los 30 años**

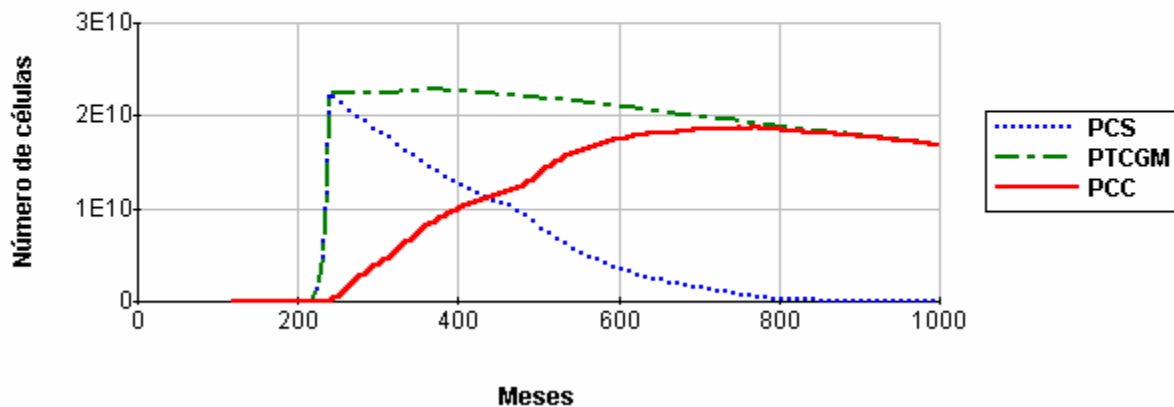


FIGURA # 7. COMPORTAMIENTO SIMULADO

**4. CONCLUSIONES**

Asumir explícitamente un modelo educativo y, en particular, una concepción del proceso de aprendizaje, se hace necesario tanto para los investigadores y desarrolladores de informática educativa como para la comunidad académica que la utiliza. El modelo educativo en el cual se inscribe la propuesta de sistema dinámico de aprendizaje, aquí planteada, integra tres componentes fundamentales, un paradigma sistémico para asumir del mundo y sus fenómenos, un modelo pedagógico constructivista y un soporte metodológico e informático mediante la Dinámica de Sistemas [10].

La propuesta de sistema dinámico de aprendizaje, fundada en los ciclos de realimentación que permiten la transformación de los modelos mentales del aprendiz, abre un importante espacio en el proceso educativo, a la informática y, en particular, al modelamiento y la simulación, construyendo realidades virtuales.

La Dinámica de Sistemas, como lenguaje sistémico para explicar y describir realidades complejas, ha demostrado en diversas experiencias internacionales [11] y en la experiencia particular de los autores de este artículo, ser un importante útil informático para develar y transformar los modelos mentales de un individuo o de una comunidad, así como poderoso recurso para estructurar complejos modelos formales de simulación

El reto de la comunidad académica de permear con la informática los procesos académicos e investigativos de la práctica educativa, además de nuevas tecnologías, desarrollos y modelos como los aquí propuestos, requiere de profesores que asuman como propios los modelos y los verifiquen y superen al evaluar su cotidianidad del aula.

- 
- [1] Andrade, Hugo; Sotaquirá, Ricardo. "Una revisión Crítica del Aprendizaje Organizacional con Dinámica de Sistemas". Grupo SIMON de Investigación 1997.
- [2] Andrade, Hugo; Sotaquirá, Ricardo. "Pensamiento de Sistemas y Dinámica de Sistemas para el modelamiento de fenómenos de diversa naturaleza". Grupo SIMON de Investigación 1997.
- [3] Andrade, Hugo; Lozano, Oscar; Duarte, Carmen. "Homos 1.0 Herramienta Software para el Modelamiento y Simulación basado en Objetos y Reglas" Grupo SIMON de Investigaciones, 1998.
- [4] Sterman, John. Learning in and about complex systems. System Dynamics Review 10(2-3): 1994. Pp.291-330.
- [5] Andrade, Hugo; Jaime Ricardo. " "Micras": Evolución De Los Micromundos Con Dinámica De Sistemas Hacia Algo Mas Que Buenos Modelos", Grupo SIMON de Investigaciones, 1998 .
- [6] Andrade, Hugo; Sotaquirá, Ricardo. "Una revisión Crítica del Aprendizaje Organizacional con Dinámica de Sistemas". Grupo SIMON de Investigación 1997.
- [7] Aracil, Javier. Introducción a la Dinámica de Sistemas. Alianza Editorial. 3ª. Edición. Madrid 1992.
- [8] Andrade, Hugo; Durán Pedro; Ardila, Carlos. "Herramienta Informática desarrollada por el grupo SIMON de investigaciones, para el modelamiento y simulación con Dinámica de Sistemas". UIS, Bucaramanga 1996.
- [9] Coperias Enrique, Las armas biológicas cercan al Cáncer. Revista Muy Interesante. Barcelona. 1996
- [10] Parra, Carlos. Andrade, Hugo. Tesis de Maestría en Informática: Propuesta de aplicación del pensamiento de sistemas y Dinámica de Sistemas en la educación media, 1997.
- [11] Para apreciar un resumen de algunas experiencias internacionales al respecto refiérase a RICHMOND, Barry. Pensamiento de Sistemas más allá de los 90s. System Dynamics Review Volume 9 #2. Summer 1993.