

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

¿Cualitativo o cuantitativo? Esa no es la cuestión: un método para el desarrollo de hipótesis dinámicas

¿Qualitative or quantitative? That's not the question: a method for developing dynamic hypotheses

Valentina Aceros, Adriana Díaz, J. Sebastian Escobar, Andrea García, Juliana Gómez-Quintero, Camilo Olaya*, Viviana Otero

Departamento de Ingeniería Industrial, Grupo TESO, CeIBA-Complejidad, Universidad de los Andes, Bogotá

*colaya@uniandes.edu.co

Resumen— La dinámica de sistemas busca explicar el comportamiento de un sistema a partir de la interacción entre los ciclos de realimentación que lo componen. Esta explicación se denomina “hipótesis dinámica” Para su construcción se han desarrollado diversos métodos que pueden clasificarse entre dos paradigmas: cualitativo y cuantitativo. Este artículo presenta un método que los autores están desarrollando en la Universidad de los Andes en Bogotá (Colombia) que aprovecha elementos de ambas perspectivas para promover la habilidad de construir hipótesis dinámicas.

Palabras Clave— hipótesis dinámica, ciclos de realimentación, simulación, experimentos.

Abstract— System dynamics seeks to explain system behavior through the interaction of feedback loops. This explanation is called “dynamic hypothesis”. Several methods have been proposed to develop dynamic hypotheses which can be classified between two paradigms: qualitative and quantitative. This paper presents a method that the authors are developing at Universidad de los Andes in Bogotá (Colombia) that uses elements of both perspectives to promote the ability to build dynamic hypotheses.

Keywords—dynamic hypothesis, feedback loops, experiments, simulation.

1. INTRODUCCIÓN

Han pasado casi 20 años desde que Stephen Maloney lanzó un famoso reto a la comunidad de dinámica de sistemas [1]. Afirmó que ésta se había vuelto un culto auto-contenido sin identidad ni cuerpo robusto de conocimiento cuyo mantra era la realimentación la cual pareciera que, como Elvis Presley, los practicantes ven por todas partes. Quizás una opción para elaborar una réplica a este cuestionamiento es el concepto de hipótesis dinámica. La dinámica de sistemas busca que la intervención científica en sistemas sociales se vea beneficiada de una explicación rigurosa de cómo el comportamiento de un sistema se explica a partir de su estructura. De hecho el desarrollo de métodos para guiar la construcción de estas explicaciones a partir de la conexión entre comportamiento y estructura es un objetivo central de la dinámica de sistemas [2],[3]. Sin embargo, y similarmente a lo que ocurre en muchas disciplinas, se ha desarrollado una dicotomía entre dos enfoques: cualitativo y cuantitativo. En este artículo presentamos un método que los autores estamos desarrollando para un curso de pregrado de la Universidad de los Andes en Bogotá (Colombia) que busca el desarrollo de habilidades de construcción de

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

hipótesis dinámicas a partir de elementos cualitativos y cuantitativos.

El artículo se organiza como sigue. A partir de una motivación originada en la dicotomía mencionada se resume el interés de buscar una complementariedad entre los llamados enfoques cualitativos y cuantitativos. A continuación se explica el método para construir hipótesis dinámicas que estamos desarrollando y se ilustra su aplicación con un ejemplo. Una reflexión final cierra la exposición.

2. MOTIVACIÓN

La dinámica de sistemas explica el comportamiento de un sistema a partir de su estructura lo que implica considerar la interacción y dominancia de los ciclos de realimentación que lo conforman [4]. Por lo tanto el desarrollo de métodos para construir estas *hipótesis dinámicas* es de central interés [2, 3]. Las posibilidades varían a lo largo de un espectro que usualmente se describe entre dos extremos: cualitativo y cuantitativo.

2.1 CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS

En lo que podemos denominar “dinámica de sistemas cualitativa” no hay uso de simulación y es defendida por varios autores como opción suficiente para desarrollar hipótesis dinámicas e inferencias de comportamientos de forma intuitiva a partir de las polaridades de estructuras de realimentación [5-8]. Bajo este enfoque usualmente se sostiene que los ciclos de refuerzo producen comportamientos divergentes y que los ciclos de balance producen comportamientos convergentes [2, 9-12]. La llamada “simulación mental” ilustra esta posición con la intención de “especular enfocadamente” para intervenir y rediseñar sistemas a partir de dichos entendimientos (denominados en la literatura en inglés “insights”). Por ejemplo, Wolstenholme sugiere que el comportamiento se puede estimar en casos simples identificando la polaridad de los ciclos de realimentación [9]; para casos más complejos recomienda seguir el efecto de los cambios de las variables en lo que él llama ciclos “mayores” de realimentación. Otro ejemplo son los llamados “arquetipos”, i.e. descriptores de patrones comunes de comportamiento asociados a

interacciones de estructuras específicas de realimentación [13-19].

Desde el enfoque cuantitativo, la simulación y el uso de elementos matemáticos se asumen como necesarios para abordar sistemas y para relacionar de manera rigurosa su comportamiento con su estructura [20, 21]. Se han desarrollado diferentes métodos que buscan un uso formal y riguroso de la simulación computacional para definir la dominancia de ciclos de realimentación y desarrollar hipótesis dinámicas. Algunos ejemplos son: (i) Jay Forrester muestra un análisis de un sistema de tercer orden para ilustrar cómo la comprensión de la estructura de realimentación del modelo junto con los resultados numéricos de la simulación sirven para explicar el comportamiento y sugerir los ciclos dominantes en el comportamiento [22]. (ii) Nathan Forrester propone un método basado en linealización de variables para analizar la sensibilidad de éstas a cambios en la dominancia de ciclos [23]. Esa sensibilidad se calcula con los valores propios de los coeficientes que expresan cada variable como combinación lineal de las demás. Dichos valores expresan la proporción del cambio en una variable por variaciones en la dominancia de los ciclos del modelo. (iii) Ford propone un análisis de las estructuras de realimentación responsables del comportamiento por medio de su desactivación [4]. La desactivación consiste en eliminar un enlace causal propio (exclusivo) de un ciclo y por medio de simulaciones examinar si es o no responsable del comportamiento en un cierto intervalo. Geert complementa esta propuesta con un método automatizado para desactivar ciclos [24]. Huang et al. extienden este método para los casos en los que no hay un enlace causal propio para un ciclo que se quiere desactivar [25]. (iv) Mohtahedzadeh et al. proponen una métrica para determinar la participación de cada enlace causal en los cambios observados en el modelo [26]. Se seleccionan intervalos donde hay variaciones en el comportamiento y para cada intervalo se escogen los enlaces que producen mayores cambios en la variable de interés.

Se puede apreciar a partir de la revisión de la literatura que los autores tienden a defender y presentar cada enfoque (cualitativo y cuantitativo) como necesario y suficiente para la comprensión de sistemas. Por un lado los promotores de enfoques cualitativos sostienen que sus modelos permiten capturar las variables, relaciones y

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

estructuras importantes sin tener que preocuparse necesariamente por los datos y la fiabilidad de éstos, y particularmente sin considerar necesario el uso del computador. Así mismo plantean que estos modelos promueven un entendimiento (“insights”) del sistema para así inferir, no necesariamente calcular, su comportamiento y finalmente intervenirlo. Por otro lado los promotores de enfoques cuantitativos sostienen que los modelos computacionales deben forzosamente utilizarse para estudiar sistemas ya que permiten inferir con mayor confiabilidad los comportamientos dada las limitaciones del aparato cognitivo humano; argumentan que estos modelos son formalmente evaluables de manera que permiten llegar a conclusiones más confiables sobre el comportamiento del sistema y la efectividad de posibles políticas.

Nos parece que esta tradicional dicotomía complica el desarrollo de habilidades en construcción de hipótesis dinámicas pues se tienden a utilizar de forma excluyente; los enfoques cuantitativos sustentan la explicación en métodos analíticos que por sus propias restricciones terminan limitando el alcance de los modelos que se pueden examinar; por otro lado los enfoques cualitativos, con el fin de evitar prudentemente la “mecanización” y favorecer el afinamiento de la intuición, tienden a desestimar los beneficios de apoyarse en la simulación. En este artículo nos interesa presentar un método que aprovecha elementos de estos dos “mundos”.

2.2 EN BUSCA DE COMPLEMENTARIEDAD

Los autores somos actualmente responsables de un curso de Dinámica de Sistemas que es obligatorio para el programa de pregrado de Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes de Bogotá. Uno de sus objetivos es desarrollar en los estudiantes habilidades de pensamiento sistémico con el aprovechamiento de las posibilidades que brindan las herramientas de ingeniería. En particular se busca que los estudiantes desarrollen la capacidad de construir posibles explicaciones del comportamiento de un sistema por medio de la elaboración de hipótesis dinámicas. Para la construcción de estas hipótesis estamos elaborando el método ESE (Estructura y Simulación Experimental) el cual pretende aprovechar el estudio cualitativo de ciclos de realimentación y el uso de experimentación con

simulación computacional. La siguiente sección introduce este método.

3. DESARROLLO DE HIPÓTESIS DINÁMICAS

Nuestro curso busca promover en los estudiantes habilidades en la construcción de hipótesis dinámicas para estimular en ellos el desarrollo del pensamiento sistémico. Para la construcción de dichas hipótesis estamos elaborando el método ESE el cual propone que en la construcción de la hipótesis se utilicen elementos cualitativos que denominamos “análisis estructural” y elementos cuantitativos que denominamos “simulación experimental”. La hipótesis dinámica la entendemos como una explicación del comportamiento de una variable sustentada en un razonamiento basado en las estructuras de realimentación del modelo que la contiene y en experimentos de simulación. Además ésta hipótesis es la base para definir políticas y escenarios que buscan cumplir con un objetivo pre-establecido. Las características de una hipótesis dinámica bajo el método ESE son:

- ❖ Ciclos de realimentación como unidades explicativas: dado que entendemos la realimentación como elemento central para la comprensión de las consecuencias de las interrelaciones en el sistema, la explicación del comportamiento se hace con base en ciclos de realimentación teniendo en cuenta su funcionalidad. La hipótesis no se basa en explicaciones lineales o relaciones entre variables (ejemplo: *X hace que Y suba lo que hace que Z baje*) sino que utiliza los ciclos como unidad de análisis y de explicación (ejemplo: *los ciclos X y Y regulan el crecimiento de Z*).
- ❖ Acciones y dominancia de los ciclos vinculados a tipos de patrones de comportamiento de una variable de interés en intervalos de tiempo específicos: la hipótesis identifica los intervalos de tiempo en los que la variable presenta patrones de comportamiento diferentes y establece los ciclos dominantes en estos intervalos, explicando su acción o efecto para producir el comportamiento observado. Acorde con Ford [4] un ciclo domina el comportamiento de una variable *X* durante un intervalo de tiempo cuando dadas la estructura y unas

y

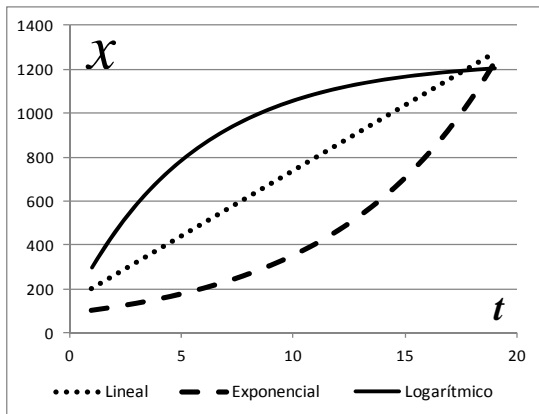
II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

condiciones del sistema, el ciclo determina el cambio de la tasa neta de cambio de la variable de interés; define tres patrones de comportamiento con base en el cambio de la tasa neta de cambio en un intervalo de tiempo:

- Lineal: el valor absoluto de la tasa neta de cambio es constante; la variable crece o decae constantemente; formalmente: $\partial(|\partial x/\partial t|)/\partial t = 0$.
- Exponencial: el valor absoluto de la tasa neta de cambio crece cada vez más; hay un crecimiento exponencial o caída acelerada de la variable; formalmente: $\partial(|\partial x/\partial t|)/\partial t > 0$.
- Logarítmico: el valor absoluto de la tasa neta de cambio decae cada vez más; hay un crecimiento o caída logarítmica de la variable; formalmente: $\partial(|\partial x/\partial t|)/\partial t < 0$.

La siguiente gráfica ilustra un ejemplo de cada uno de estos comportamientos.

Figura 1. Ejemplo de patrones de comportamiento para una variable



- ❖ Sustento basado en análisis estructural y experimentos de simulación: para establecer la dominancia de los ciclos por intervalos de tiempo se consideran tanto las polaridades de los ciclos de realimentación como los resultados de experimentos de simulación computacional.

La construcción de la hipótesis dinámica puede a su vez hacerse en dos modos distintos: estimativo o explicativo. En modo estimativo se plantea un posible comportamiento de la variable de interés a

partir de la estructura del modelo y se construye una primera hipótesis dinámica, posteriormente y con ayuda del simulador se ponen a prueba el comportamiento planteado y la hipótesis inicial. En el modo explicativo se parte de un comportamiento ya conocido de la variable de interés y por medio del análisis estructural se construye una hipótesis inicial que se pone a prueba y se ajusta con experimentos de simulación.

Una vez elaborada la hipótesis dinámica ésta se utiliza para la definición de políticas (diseño de un conjunto integral y coherente de modificaciones estructurales) para promover comportamientos deseados de la variable de interés. Las modificaciones al modelo buscan cambiar la dominancia de los ciclos del sistema y por consiguiente el comportamiento de la variable de interés. Estas políticas deben evaluarse ante diversos escenarios (conjunto de eventos futuros sobre los cuales hay incertidumbre).

3.1. MÉTODO ESE

Para la construcción de la hipótesis dinámica se ha definido un método propio, el método ESE, el cual integra elementos del enfoque cualitativo y cuantitativo. Desde el enfoque cualitativo, por medio del análisis estructural se construye intuitivamente una primera hipótesis, con base en una simulación mental y la inferencia de la función que los ciclos están cumpliendo en cada intervalo de tiempo. Desde el enfoque cuantitativo la simulación experimental permite poner a prueba la hipótesis inicial y eventualmente ajustarla y modificarla.

3.1.1 Análisis estructural

El análisis estructural consiste en la inspección detallada del modelo, de sus estructuras de realimentación, variables que lo componen, ecuaciones, parámetros y funciones gráficas y se hace con el propósito de construir una primera hipótesis dinámica. A partir de este análisis se identifica la polaridad de las relaciones causales entre las variables, la polaridad de los ciclos de realimentación y la posible función que pueden cumplir (e.g. regular, reforzar). La siguiente heurística resume la construcción de la hipótesis dinámica estructural:

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

- a. Identificar los valores iniciales de las variables y parámetros.
- b. Identificar las polaridades de los enlaces causales.
- c. Identificar la polaridad de los ciclos de realimentación y definir su posible funcionalidad.
- d. Estimar el comportamiento de la variable en los casos en los que no sea dado (modo estimativo).
- e. Identificar intervalos de tiempo (etapas) según los cambios en la tasa de cambio de la variable (patrones de comportamiento).
- f. Estudiar si alguna estructura genérica de realimentación puede apoyar la construcción de la hipótesis según la situación dada.
- g. Construir la hipótesis dinámica con base en estos elementos.

La construcción de la hipótesis puede comenzar con una explicación de por qué se produce el patrón de comportamiento inicial, es decir al comienzo de la primera etapa (e); para ello es particularmente útil conocer las condiciones iniciales del sistema (a) y las polaridades de los enlaces causales (b) para identificar la polaridad y posible función que cumplen los ciclos de realimentación (c). Con estos elementos y considerando la tasa de cambio de la variable (e), se puede proponer qué estructura(s) de realimentación es (son) responsable(s) de fomentar (ciclo de refuerzo) o regular (ciclo de balance) la variable de interés en ese primer intervalo de tiempo ya sea de modo explicativo o de modo estimativo (d).

Posterior al análisis de la primera etapa, es posible proponer los ciclos dominantes en las siguientes etapas (e) teniendo en cuenta la funcionalidad (c), los parámetros, las ecuaciones y las funciones tabla que hacen parte de los ciclos (a) y la tasa de cambio de la variable de interés (e). A partir estos elementos se espera establecer qué estructuras de realimentación pueden ser principalmente responsables del comportamiento de la variable de interés para ciertos intervalos de tiempo. Con todos los elementos mencionados y una vez se establecen los ciclos que tienen acción o dominancia en cada etapa se construye una primera hipótesis dinámica mediante la elaboración de un texto explícito que explica el comportamiento de la variable de interés.

El siguiente paso es la simulación experimental para confirmar, rechazar y/o modificar la hipótesis dinámica.

3.1.2 Simulación experimental

Una vez construida la hipótesis dinámica se utiliza un modelo de simulación para revisar la explicación del comportamiento de la variable de interés.

En el caso en que la hipótesis dinámica estructural haya sido realizada en modo estimativo, se procede a simular el comportamiento de la variable de interés con la ayuda de una herramienta computacional a partir de un modelo proporcionado. Con base de este comportamiento es posible contrastar lo estimado mediante análisis estructural con lo que el simulador muestra. En este caso se utiliza la simulación experimental para comprender el funcionamiento de las estructuras de realimentación en la producción del comportamiento de la variable de interés. En el caso en el que la hipótesis dinámica estructural se haya realizado en modo explicativo el ejercicio de simulación se lleva a cabo para corroborar, contrastar y complementar la hipótesis inicial acerca de la explicación del comportamiento de la variable de interés por medio de la funcionalidad y la dominancia de los ciclos.

La simulación experimental consiste en realizar una serie experimentos en los que se efectúan cambios ya sea en la estructura o en los parámetros del modelo con el fin de modificar y probar la acción y función de los ciclos. A partir de dichos experimentos se busca identificar cambios en el patrón de comportamiento de la(s) variable(s) de interés para evaluar si estas estructuras de realimentación son o no dominantes en una determinada etapa. Los resultados de los experimentos permiten obtener información que soporta, contradice o complementa la propuesta inicial de hipótesis dinámica. Los experimentos se basan en dos tipos de pruebas, desactivación de ciclos [4] y variación de parámetros.

- a. Desactivación de ciclos:

Esta prueba consiste en la desactivación sistemática de ciclos individuales y de subgrupos de ciclos, basada en los lineamientos del método de evaluación de ciclos de realimentación propuesto por Ford [4].

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

Para desactivar un ciclo se anula temporalmente una de las relaciones causales que lo conforman con el objetivo de inhabilitar temporalmente la acción de realimentación del mismo y examinar su efecto sobre el comportamiento de la variable de interés. Debe procurarse que este enlace no haga parte de otra estructura de realimentación para poder evaluar únicamente la dominancia del ciclo a desactivar. Para ilustrar este procedimiento, considérese un ciclo Y y un par de variables *variable1* y *variable2* que hacen parte del mismo (**Figura 2**). Entre la *variable1* y la *variable2* existe una relación causal que está caracterizada por una ecuación en la que la *variable1* depende de la *variable2*. Para deshacer temporalmente la incidencia de la *variable1* sobre la *variable2* se reemplaza en la ecuación de la *variable1* la *variable2* por un parámetro constante a criterio del modelador¹.

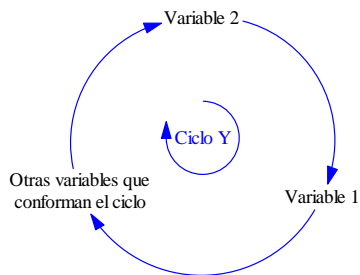


Figura 2. Ciclo Y

La desactivación de un ciclo puede realizarse tanto al comienzo de la simulación, como a partir de un tiempo definido por el modelador, en el caso en que solo se desee desactivar el ciclo a partir de cierta etapa. En este caso sugerimos reemplazar la relación causal por el valor de la variable en el tiempo de simulación de la desactivación.

Caso de enlaces únicos y compartidos:

Un caso especial ocurre cuando todos los enlaces de un ciclo son compartidos con otros ciclos de realimentación o cuando no se puede anular la incidencia entre las variables como ocurre con las relaciones causales implícitas entre flujos y niveles. Al analizar los resultados en este caso, debe tenerse presente que al deshacer una relación causal de un ciclo, se desactiva inevitablemente el

ciclo con el cual se comparte el enlace. Huang et al proponen alternativas para abordar esta situación [25].

b. Variación de parámetros:

Esta prueba consiste en la modificación sistemática de parámetros y variables auxiliares que tienen incidencia directa sobre un ciclo, para evaluar su dominancia en determinadas etapas del comportamiento de la variable de interés. Dichos cambios pueden modificar la acción de un ciclo haciéndolo más o menos dominante. La variación de parámetros puede implementarse al inicio de la simulación, o desde un tiempo T definido por el modelador.

Análisis de resultados

Los resultados de la aplicación de las dos pruebas permiten observar los efectos de los ciclos sobre el comportamiento de la(s) variable(s) de interés. Estos efectos pueden ser (i) nulos: el comportamiento se mantiene igual al original; (ii) de magnitudes: el patrón de comportamiento se mantiene pero la magnitud (valores numéricos) es diferente, (iii) de comportamiento: el patrón de comportamiento cambia. Si al desactivar un ciclo ocurren cambios en el patrón del comportamiento de la(s) variable(s) de interés, se puede suponer que este ciclo es determinante en el comportamiento original de la variable. La conclusión sobre la dominancia de un ciclo en una determinada etapa dependerá del análisis conjunto de los resultados de las pruebas. Es posible realizar múltiples experimentos y combinaciones de los dos tipos de pruebas mencionadas anteriormente, y para hacerlo no existe una heurística pre-determinada. Finalmente con los resultados de los experimentos se confirma, rechaza y/o modifica la acción y dominancia de los ciclos definida con el análisis estructural y se construye la nueva hipótesis dinámica.

3.1.3. Hipótesis dinámica

La nueva hipótesis dinámica es el resultado de un proceso iterativo en el que se integra, comprende e interpreta la información que proporcionan ambos ejercicios: el análisis estructural y la simulación experimental. En este proceso se busca poner a prueba la intuición sobre la dinámica de un sistema y su relación con las estructuras de realimentación, resultado de un discernimiento

¹ Este parámetro puede ser el valor inicial de la *variable2*, un valor promedio, el valor en que se estabiliza (si esto ocurre), o un valor en algún punto determinado de la simulación.

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

cuantitativo y contrastando esta intuición con la información cuantitativa que provee la simulación experimental.

A continuación se muestra un ejemplo del método ESE.

4. EJEMPLO

Para ilustrar la construcción de una explicación del comportamiento con base en el análisis estructural y una posterior hipótesis dinámica que también incorpore elementos de la simulación experimental se considerará un caso acerca del comportamiento de las obras de arte que exhibe un museo de arte.²

El dinero del museo depende de la cantidad de obras que se exhiben pues esto asegura unos ingresos por las visitas que recibe. Adicionalmente, el museo cuenta con otras dos fuentes de ingresos: donaciones de empresas del sector privado y aportes del Estado; el museo realiza solicitudes anuales de recursos al Estado según la diferencia entre la cantidad de obras que exhiben y una cantidad de obras que desea tener exhibidas; adicionalmente el Estado otorga recursos de acuerdo con la cantidad de obras en exhibición. El dinero del museo se reparte entre los gastos de mantenimiento de las obras y los gastos de las nuevas adquisiciones que realiza el museo anualmente. La decisión de comprar obras se realiza según el dinero disponible y el valor de referencia del costo de las nuevas obras que serán adquiridas.

4.1. Hipótesis dinámica con análisis estructural

Para el caso de estudio presentado se construirá una hipótesis dinámica de la variable Obras en exhibición, en modo explicativo. La **Figura 3** muestra un diagrama de niveles y flujos que representa la situación con las rutas de los ciclos de realimentación y sus polaridades así como los valores iniciales de las variables; esta información corresponde a los primeros elementos del análisis estructural presentados en la sección anterior. Las ecuaciones se encuentran en el **Anexo 1**.

Con las polaridades de los ciclos de realimentación es posible establecer posibles funciones para los mismos, por ejemplo:

- Ciclo R1: refuerzo de la financiación del Estado.
- Ciclo B1: regulación las obras en exhibición según la meta y los aportes del Estado.
- Ciclo R2: atractivo cultural: refuerzo de las obras en exhibición de acuerdo con los ingresos de las visitas.
- Ciclo B2: regulación de las nuevas adquisiciones dado los gastos que generan las obras.
- Ciclo B3: regulación de las obras según el tiempo de exhibición.
- Ciclo B4: regulación de nuevas adquisiciones dado el dinero disponible.

En la **Figura 4** se muestra el comportamiento simulado de la variable *Obras en exhibición* sobre el cual se identifican tres etapas en las que hay un patrón de comportamiento definido.

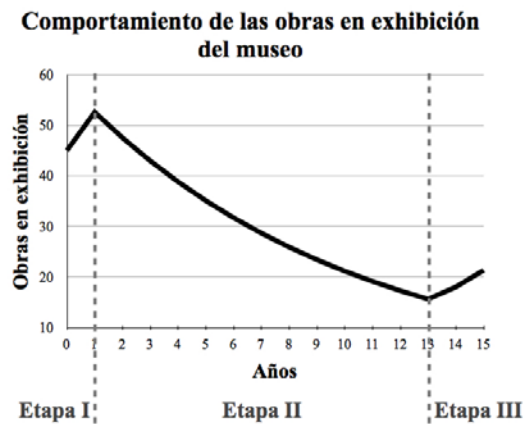


Figura 4. Comportamiento de las obras en exhibición en el museo.

Con la información de condiciones iniciales, polaridades de enlaces causales y de ciclos de realimentación, funciones de los ciclos, y con la identificación de intervalos (etapas) para el comportamiento de la variable e interés, se puede entonces construir una hipótesis dinámica preliminar. A continuación se muestra un ejemplo.

² Caso empleado en un examen en la Universidad de los Andes basado en Bernardi, C. (2006). *The sustainability of museum growth: a system dynamics approach*. The 24th International Conference of the System Dynamics Society. Nijmegen, The Netherlands.

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

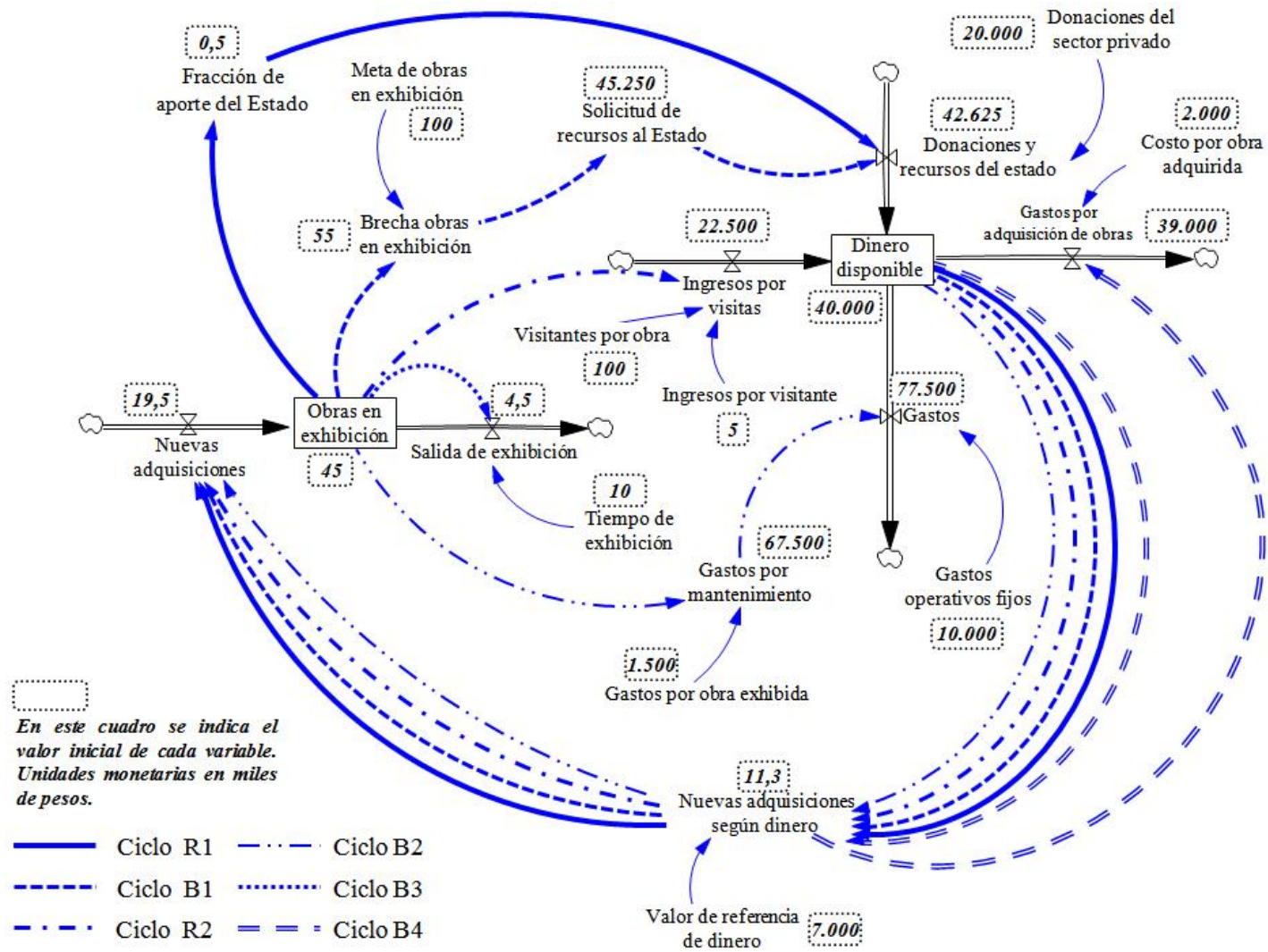


Figura 3. Diagrama de niveles y flujos, ciclos de realimentación y valores iniciales del modelo.

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

Hipótesis dinámica según análisis estructural

Para explicar el crecimiento del número de obras en exhibición en la primera etapa es necesario examinar los valores iniciales del modelo; en particular, hay un mayor número de nuevas obras que la cantidad de obras que salen de las salas de exhibición del museo, es por estos valores iniciales que se cree que el ciclo R2 es dominante ya que refuerza la adquisición de nuevas obras debido a los ingresos que dejan las visitas al museo. Igualmente, se observa un crecimiento no acelerado en las obras en exhibición debido a la dominancia del ciclo B4, el cual regula el dinero disponible debido a la adquisición de nuevas obras ya que al haber una diferencia entre la meta de obras y las obras que en efecto posee el museo, éste tomará la decisión de adquirir más obras para cerrar tal diferencia. A partir de la etapa II se propone como dominante el ciclo B2 puesto que limita la adquisición de obras por los gastos de mantenimiento que éstas representan; en efecto, el museo tiene más gastos por el mantenimiento de las obras que ingresos por sus visitas, es posible observar los valores iniciales asociados al nivel de dinero y notar que el dinero disponible, al menos al principio esta disminuyendo. Este decrecimiento de la variable de interés se puede explicar además por el ciclo B4, este ciclo regula el dinero disponible por la adquisición de obras lo que afecta el dinero. Este decrecimiento de la variable obras en exhibición se mantendrá hasta el final de la etapa II, donde se cree que los ciclos B1 y B2 harán que la variable de interés nuevamente crezca. El ciclo B1 regula el número de obras en exhibición de acuerdo al cumplimiento de la meta de obras en exhibición y la solicitud de recursos que hace el museo al Estado; eso sucede porque la cantidad de obras que posee el museo en la etapa III dista de la meta propuesta (100 obras), a pesar de que las obras han estado siempre por debajo de la meta al principio de la etapa III el ciclo B1 se vuelve dominante generando que la variable obras en exhibición incremente en la etapa III por la diferencia entre las obras y la meta. El ciclo B2 permite el aumento de la variable obras en exhibición en la etapa III por la regulación del dinero que genera este ciclo, el bajo número de obras asegura que el museo tenga bajos costos de mantenimiento.

Con base en esta hipótesis en la **Figura 5**. se presentan los ciclos dominantes para cada una de las etapas.

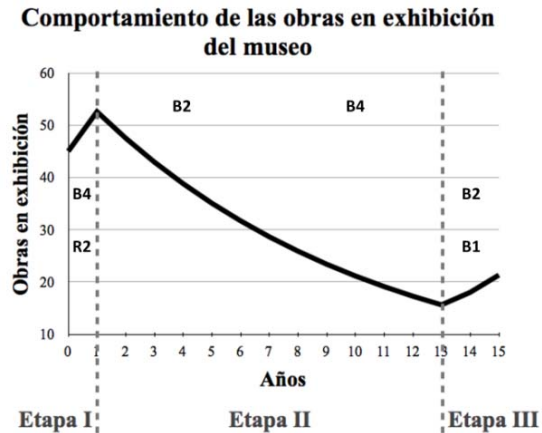


Figura 5. Hipótesis dinámica estructural

4.2. Hipótesis dinámica incorporando simulación experimental

Mediante la simulación experimental se pondrá a prueba la explicación de la variable de interés realizada con base en un análisis estructural. En la **Tabla 1** se muestran experimentos que se realizaron con el fin de examinar la dominancia de ciclos de realimentación propuesta en la hipótesis preliminar (**Figura 5**). En el **Anexo 2** se muestran los resultados de las simulaciones y la imagen de la interfaz del simulador.

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

Tabla 1. Experimentos realizados y sus propósitos.

NUMERO EXPERIMENTO	PARÁMETROS O CICLOS EXAMINADOS	PROPÓSITO DEL EXPERIMENTO Y PRUEBAS REALIZADAS	RESULTADOS Y OBSERVACIONES
1	Ciclo R2	Examinar la dominancia del ciclo R2 en la etapa I. Desactivación del ciclo R2 con variación del parámetro <i>Obras en exhibición</i> .	Ver Figura A2-1. No se observan variaciones importantes en la cantidad de obras en exhibición al variar el parámetro de desactivación. De esto se concluye que el ciclo R2 no es dominante en la etapa I mas puede explicar el comportamiento de la variable de interés en la etapa III. Los cambios en las obras en exhibición que se ven en la etapa II debido a la desactivación de este ciclo se puede deber principalmente al parámetro de desactivación por esto el ciclo no es dominante en esta etapa.
2	Ciclo B4	Examinar la dominancia del ciclo B4 en la etapa I. Desactivación del ciclo B4 con variación del parámetro <i>Nuevas adquisiciones</i> .	Ver Figura A2-2. Al desactivar el ciclo B4, no se observan cambios importantes en la variable <i>Obras en exhibición</i> en las etapas I y II. Sin embargo, se observa que para diferentes cambios en el parámetro de desactivación, el comportamiento de la variable de interés cambiará considerablemente en la etapa III con lo cual se le puede atribuir dominancia a este ciclo para esta última etapa.
3	Obras en exhibición	Comprobar si el comportamiento de la variable de interés en la etapa I se debe a las condiciones iniciales del modelo. Análisis de sensibilidad sobre el valor inicial de la variable <i>Obras en exhibición</i> .	Ver Figura A2-3. Se aprecia que el comportamiento de la variable <i>Obras en exhibición</i> varía numéricamente en las etapas II y III; sin embargo, hay una variación en su comportamiento en la etapa I. Se puede explicar el comportamiento de la variable por las condiciones iniciales del modelo.
4	Ciclo B2	Examinar la dominancia del ciclo B2 en la etapa II y en la etapa III. Desactivación del ciclo B2 con variación del parámetro <i>Obras en exhibición</i> .	Ver Figura A2-4. Se confirma la hipótesis propuesta en la hipótesis dinámica sobre la dominancia de este ciclo en la etapa II. El ciclo en efecto pretende regular la adquisición de nuevas obras debido a los costos de mantenimiento que esto suponen al museo.
5	Ciclo B1	Examinar la dominancia del ciclo B1 en la etapa III. Desactivación del ciclo B1 con variación del parámetro <i>Solicitud de recursos</i> .	Ver Figura A2-5. El ciclo puede explicar el comportamiento de la variable de interés en la etapa III; sin embargo, los cambios presentados en la etapa II se pueden deber al parámetro que se toma como constante cuando se desactiva el ciclo.
6	Meta de obras en exhibición	Comprobar si el ciclo B1 impulsa el crecimiento de la variable de interés en la etapa III debido a la brecha entre la cantidad de obras en exhibición y la meta. Análisis de sensibilidad sobre el valor inicial de la variable <i>Meta de obras en exhibición</i> .	Ver Figura A2-6. Tras hacer un análisis de sensibilidad se puede observar que el ciclo B1 incide en el crecimiento de las obras en la etapa III de acuerdo a la hipótesis propuesta mediante análisis estructural. Al hacer sensibilidad sobre la meta de obras en exhibición se observa que el impulso que le da el ciclo B1 a la variable de interés es mayor cuanto mayor sea la brecha entre la meta y las obras.

Con base en lo anterior se presenta a continuación la hipótesis dinámica revisada según estos experimentos.

Hipótesis dinámica con simulación experimental

El crecimiento inicial de la variable *obras en exhibición* no se debe a la dominancia del ciclo R2 (Experimento 1) sino a las condiciones iniciales del modelo (Experimento 3), en particular por los valores que toman las variables *Nuevas adquisiciones* y *Salida de exhibición*. La variable de interés seguirá con esta tendencia hasta el final de la etapa I donde el ciclo B2 se considera como dominante en la etapa II y hasta el final de la etapa III (Experimento 4). Este ciclo es

responsable de la caída regulada de la cantidad de obras en exhibición por el efecto regulador de los gastos de mantenimiento de las obras sobre las nuevas adquisiciones del museo. En la etapa III el ciclo R2 es el que permite que la variable obras en exhibición vuelva a incrementar, esto se puede observar en el experimento 1, donde el refuerzo por el aporte de recursos permite el incremento. En la etapa III el ciclo B1 también tomará dominancia puesto que la meta de obras en exhibición regula las obras que en efecto se están exhibiendo ayudando al incrementode las obras, pues el valor de la meta determina el punto de inflexión y permite que se de un incremento de las obras en exhibición nuevamente (Experimento 5 y 6). El crecimiento regulado en la etapa III se puede explicar por la dominancia del ciclo B4

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

(Experimento 2) ya que este se encarga de regular el dinero disponible por el gasto en adquisición de nuevas obras, esto permite que el dinero se pueda destinar a nuevas obras y que la variable obras en exhibición pueda aumentar nuevamente por la regulación del dinero de este ciclo.

Se puede observar que con los resultados de los experimentos de simulación se confirmó, rechazó y modificó la dominancia y papel de los ciclos definidos en la hipótesis construida con base en el análisis estructural. Los ciclos dominantes para cada una de las etapas según la nueva hipótesis dinámica se muestran en la siguiente figura.

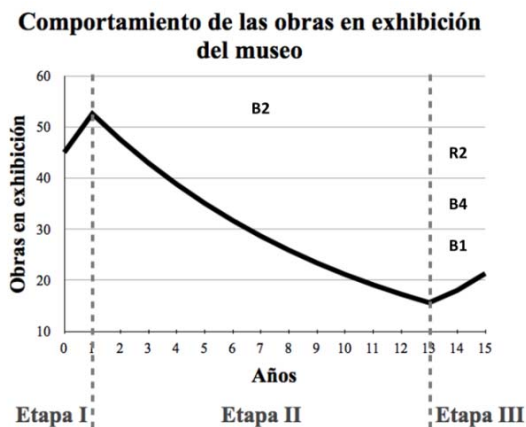


Figura 5. Hipótesis dinámica basada en simulación

5. REFLEXIÓN

El método ESE, presentado en este trabajo, busca utilizar elementos cualitativos y cuantitativos para desarrollar una explicación endógena del comportamiento de un sistema. Desde el punto de vista cualitativo, el análisis estructural considera la estructura del modelo y los ciclos de realimentación como elementos centrales. Igualmente considera la posibilidad de examinar estructuras genéricas de realimentación. Desde el punto de vista cuantitativo, el uso de la simulación, el desarrollo de experimentos y la utilización de las técnicas de desactivación de ciclos y variación de parámetros son elementos que permiten complementar el desarrollo de hipótesis dinámicas.

En la literatura revisada encontramos que se tiende a defender la utilización de enfoques

cualitativos y cuantitativos de manera excluyente y suficiente para abordar sistemas complejos. Sin embargo, esta dicotomía puede dificultar el desarrollo de habilidades en la construcción de hipótesis dinámicas y por tanto el pensar sistémicamente. Por un lado, los enfoques cuantitativos se centran en métodos formales analíticos que pueden limitar el alcance de los modelos a examinar, así mismo, la preocupación por la rigurosidad en los datos y los cálculos, puede resultar en modelos muy detallados pero que dificulten el entendimiento de los conceptos y dinámicas importantes para la situación de interés. Además, enfocarse sólo en la simulación para comprender el sistema, no promueve el desarrollo de la intuición y el aprendizaje mismo sobre el sistema. Por otro lado, los enfoques cualitativos con una mayor preocupación por conceptualizar y comprender la complejidad del sistema pueden tener mayores dificultades para asociar estructura con comportamiento y para poner a prueba lo que se intuye o la llamada simulación mental. Así mismo, el uso de estructuras genéricas puede tender a la generalización y mecanización del desarrollo de hipótesis dinámicas, lo que también puede limitar el aprendizaje y el afinamiento de la intuición.

Se observa que cada uno de los enfoques hace aportes importantes al desarrollo de habilidades en la construcción de hipótesis, pero también esta dicotomía puede significar obstáculos para este desarrollo. Lo que propone este trabajo para superar estas limitaciones es buscar un balance entre la conceptualización y la simulación. El método propuesto busca aprovechar el análisis cualitativo y el uso del computador para el desarrollo de hipótesis dinámicas y así propiciar procesos de aprendizaje y pensamiento sistémico. El desarrollo de una hipótesis inicial y el ejercicio de utilizar un simulador para rechazar esa hipótesis propicia procesos de aprendizaje sobre cómo interactúan los ciclos de realimentación. Este proceso de confrontar ideas iniciales con el simulador permite iterar sobre el ciclo de aprendizaje propuesto por Sterman [2]. Al iterar en este proceso se favorece el aprendizaje y la comprensión del sistema, la función, acción e interacción de los ciclos en la producción del comportamiento de la variable de interés, conduciendo a explicaciones más completas que permiten la construcción de la nueva hipótesis dinámica. El método además subraya el uso de la experimentación que fue uno de los cuatro pilares

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

de Forrester [22] cuando propuso los primeros armazones de la dinámica de sistemas.

El entendimiento que provee la dinámica de sistemas se materializa en lo que llamamos hipótesis dinámica, i.e. la explicación endógena del comportamiento de un sistema a partir de su estructura. Consideramos que esta asociación entre estructura y comportamiento promueve el desarrollo del pensamiento sistémico y para la construcción de estas explicaciones se han desarrollado diferentes métodos que pueden servir como posibles respuestas a las inquietudes planteadas por Maloney que mencionamos al comienzo de este artículo. La dinámica de sistemas requiere de herramientas y de métodos sistemáticos para desarrollar hipótesis dinámicas que apoyen el diseño de políticas; esta búsqueda continua refleja una postura auto-crítica y no una certeza dogmática, y es sin duda el mejor remedio contra el riesgo de convertirse en un culto.

6. REFERENCIAS

- [1] Maloney, "Notes and insights on essential tension," *System Dynamics Review*, vol. 9, pp. 301-305, 1993.
- [2] J. Sterman, *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston, MA, USA., 2000.
- [3] G. Richardson, "Problems with causal-loop diagrams," *System Dynamics Review*, vol. 2, pp. 158-170, 1986.
- [4] D. Ford, "A behavioral approach to feedback loop dominance analysis," *System Dynamics Review*, vol. 15, pp. 3-36, 1999.
- [5] E. Wolstenholme, "System dynamics in perspective," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 33, pp. 547-556, 1982.
- [6] E. Wolstenholme and R. Coyle, "The development of system dynamics as a methodology for system description and qualitative analysis.," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 34, pp. 569-581, 1983.
- [7] E. Wolstenholme, "Qualitative vs quantitative modelling: the evolving balance," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 50, pp. 422-428, 1999.
- [8] A. Mejía, *et al.*, "Ser directo puede traerte problemas, pero ser indirecto también: las realimentaciones en dinámica de sistemas cualitativa y cuantitativa.," in *V Congreso Latinoamericano Dinámica de Sistemas*, Buenos Aires, Argentina, 2007.
- [9] E. Wolstenholme, *System Enquiry: A System Dynamics Approach*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons 1990.
- [10] G. Coyle, *System Dynamics Modelling: A Practical Approach*. London: Chapman & Hall, 1996.
- [11] G. Coyle, "Qualitative and quantitative modelling in system dynamics: some research questions," *System Dynamics Review*, vol. 16, pp. 225-244, 2000.
- [12] Venix, *Group Model Building: Facilitating Team Learning Using System Dynamics*. New York, NY: John Wiley & Sons., 1996.
- [13] Kim, *Systems Archetypes* Cambridge, MA: Pegasus Communications, 1993.
- [14] W. Braun, "The System Archetypes," in *The Systems Modeling Workbook*, W. Braun, Ed., ed, 2002.
- [15] Kim, "Predicting behavior using systems archetypes," *The Systems Thinker*, vol. 5, pp. 5-6, 1994.
- [16] Kim, "Systems archetypes as dynamic theories," *The Systems Thinker*, vol. 6, pp. 6-9, 1995.
- [17] P. Senge, *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. Nueva York: Doubleday, 1990.
- [18] Wolstenholme, "Towards the definition and use of a core set of archetypal structures in system dynamics," *System Dynamics Review*, vol. 19, pp. 7-26, 2003.
- [19] A. Mejía and G. Díaz, "Tipos de arcos y hacia dónde disparan: Sobre la naturaleza y las posibilidades de los arquetipos " in *IV Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas*, México, 2006.
- [20] G. Richardson, "Problems for the future of system dynamics," *System Dynamics Review 12(2): 141-157*, vol. 12, pp. 141-157, 1996.
- [21] J. Homer and R. Oliva, "Maps and models in system dynamics: a response to Coyle," *System Dynamics Review*, vol. 17, pp. 347-355, 2001.

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

- [22] J. Forrester, "Preview of Feedback Dynamics," in *Principle of Systems*, ed Walthman, MA: Pegasus Communications, Inc, 1971, pp. 2.1 - 2.39.
- [23] N. Forrester, "Eigenvalue Analysis of Dominant Feedback Loops," in *1st International Conference of the System Dynamics Society*, Chestnut Hill, United States, 1983.
- [24] H. Geert, "Generalised Loop Deactivation Method," in *26th International Conference of the System Dynamics Society*, Athens, Greece, 2008.
- [25] J. Huang, *et al.*, "An Extension of Loop Deactivation in the Behavioural Method," in *28th International Conference of the System Dynamics Society*, Seoul, Korea., 2010.
- [26] M. Mojtahedzadeh, *et al.*, "Using Digest to implement the pathway participation method for detecting influential system structure. ," *System Dynamics Review*, vol. 20, pp. 1-20, 2004.

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

ANEXOS

ANEXO 1. Ecuaciones del modelo

Ecuaciones originales del modelo:

- Dinero__disponible(t) = Dinero__disponible(t - dt) + (Ingresos_por__visitas + Donaciones__y_recursos_del_estado - Gastos - Gasto_por_adquisición_de_obras) * dt
INIT Dinero__disponible = 40000000
INFLOWS:
 Ingresos_por__visitas = Obras_en_exhibición*Ingresos_por__visitante*Visitantes_por_obra
 Donaciones__y_recursos_del_estado = Donaciones_del__sector_privado+Fracción_de__aporte_del_Estado*Solicitud_de__recursos_al_Estado
 OUTFLOWS:
 Gastos = Gastos_operativos__fijos+Gastos_por__mantenimiento
 Gasto_por_adquisición_de_obras = Costo_por_obra_adquirida*Nuevas_adquisiciones_según_dinero
- Obras_en_exhibición(t) = Obras_en_exhibición(t - dt) + (Nuevas_adquisiciones - Salida_de_exhibición) * dt
INIT Obras_en_exhibición = 45
INFLOWS:
 Nuevas_adquisiciones = Nuevas_adquisiciones_según_dinero
 OUTFLOWS:
 Salida_de_exhibición = Obras_en_exhibición/Tiempo_de_exhibición
- Brecha__obras_en_exhibición = Meta_de_obras__en_exhibición-Obras_en_exhibición
 Costo_por_obra_adquirida = 2000000
 Donaciones_del__sector_privado = 20000000
 Gastos_operativos__fijos = 10000000
 Gastos_por__mantenimiento = Gasto_por_obra__exhibida*Obras_en_exhibición
 Gasto_por_obra__exhibida = 1500000
 Ingresos_por__visitante = 5000
 Meta_de_obras__en_exhibición = 100
 Tiempo_de_exhibición = 10
 Valor_de_referencia_de_dinero = 7000000
 Visitantes_por_obra = 100
 Fracción_de__aporte_del_Estado = GRAPH(Obras_en_exhibición)
 (0.00, 0.3), (10.0, 0.33), (20.0, 0.36), (30.0, 0.405), (40.0, 0.46), (50.0, 0.54), (60.0, 0.61), (70.0, 0.68), (80.0, 0.76), (90.0, 0.82), (100, 0.835)
 Nuevas_adquisiciones_según_dinero = GRAPH(Dinero__disponible/Valor_de_referencia_de_dinero)
 (0.00, 0.00), (0.3, 0.00), (0.6, 0.00), (0.9, 0.00), (1.20, 2.00), (1.50, 6.00), (1.80, 9.50), (2.10, 14.0), (2.40, 16.5), (2.70, 18.5), (3.00, 19.5)
 Solicitud_de__recursos_al_Estado = GRAPH(Brecha__obras_en_exhibición)
 (-100, 0.00), (-80.0, 0.00), (-60.0, 0.00), (-40.0, 0.00), (-20.0, 0.00), (0.00, 1.5e+007), (20.0, 2.5e+007), (40.0, 3.7e+007), (60.0, 4.8e+007), (80.0, 5.6e+007), (100, 6.2e+007)

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

Ecuaciones del modelo modificadas para realizar la prueba de desactivación de ciclos:

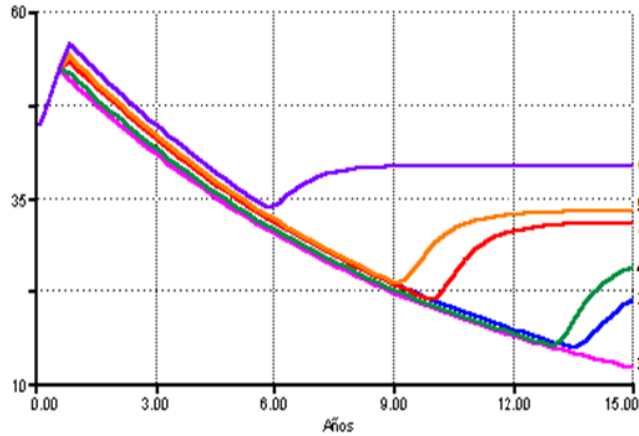
- Dinero_disponible(t) = Dinero_disponible(t - dt) + (Ingresos_por_visitas + Donaciones_y_recursos_del_estado - Gastos - Gasto_por_adquisición_de_obras) * dt
INIT Dinero_disponible = 40000000
INFLOWS:
 - Ingresos_por_visitas = IF (Ciclo_R2=1)
THEN Obras_en_exhibición*Ingresos_por_visitante*Visitantes_por_obra
ELSE
Obras_en_exhibición_con_ciclo_R2_desactivado*Ingresos_por_visitante*Visitantes_por_obra
 - Donaciones_y_recursos_del_estado = IF (Ciclo_B1=1) THEN
Donaciones_del_sector_privado+Fracción_de_aporte_del_Estado*Solicitud_de_recursos_al_Estado ELSE
Donaciones_del_sector_privado+Fracción_de_aporte_del_Estado*Solicitud_de_recursos_con_ciclo_B1_desactivado
- OUTFLOWS:
 - Gastos = Gastos_operativos_fijos+Gastos_por_mantenimiento
 - Gasto_por_adquisición_de_obras = IF (Ciclo_B4=1)
THEN Costo_por_obra_adquirida*Nuevas_adquisiciones_según_dinero
ELSE
Nuevas_adquisiciones_con_ciclo_B4_desactivado*Nuevas_adquisiciones_según_dinero
- Obras_en_exhibición(t) = Obras_en_exhibición(t - dt) + (Nuevas_adquisiciones - Salida_de_exhibición) * dt
INIT Obras_en_exhibición = 45
INFLOWS:
 - Nuevas_adquisiciones = Nuevas_adquisiciones_según_dinero
- OUTFLOWS:
 - Salida_de_exhibición = IF (Ciclo_B3=1)
THEN Obras_en_exhibición/Tiempo_de_exhibición
ELSE Obras_en_exhibición_con_ciclo_B3_desactivado/Tiempo_de_exhibición
- Brecha_obras_en_exhibición = Meta_de_obras_en_exhibición-Obras_en_exhibición
- Ciclo_B1 = 1
- Ciclo_B2 = 1
- Ciclo_B3 = 1
- Ciclo_B4 = 1
- Ciclo_R1 = 1
- Ciclo_R2 = 1
- Costo_por_obra_adquirida = 2000000
- Donaciones_del_sector_privado = 20000000
- Gastos_operativos_fijos = 10000000
- Gastos_por_mantenimiento = IF (Ciclo_B2=1)
THEN Gasto_por_obra_exhibida*Obras_en_exhibición
ELSE Gasto_por_obra_exhibida*Obras_en_exhibición_con_ciclo_B2_desactivado
- Gasto_por_obra_exhibida = 1500000
- Ingresos_por_visitante = 5000
- Meta_de_obras_en_exhibición = 100
- Nuevas_adquisiciones_con_ciclo_B4_desactivado = 20
- Obras_en_exhibición_con_ciclo_R1_desactivado = 45
- Obras_en_exhibición_con_ciclo_R2_desactivado = 45
- Obras_en_exhibición_con_ciclo_B2_desactivado = 45
- Obras_en_exhibición_con_ciclo_B3_desactivado = 45
- Solicitud_de_recursos_con_ciclo_B1_desactivado = 45250000
- Tiempo_de_exhibición = 10
- Valor_de_referencia_de_dinero = 7000000
- Visitantes_por_obra = 100
- Fracción_de_aporte_del_Estado = GRAPH(IF (Ciclo_R1=1) THEN Obras_en_exhibición ELSE
- Obras_en_exhibición_con_ciclo_R1_desactivado)
(0.00, 0.3), (10.0, 0.33), (20.0, 0.36), (30.0, 0.405), (40.0, 0.46), (50.0, 0.54), (60.0, 0.61), (70.0, 0.68), (80.0, 0.76), (90.0, 0.82), (100, 0.835)
- Nuevas_adquisiciones_según_dinero =
- GRAPH(Dinero_disponible/Valor_de_referencia_de_dinero)
(0.00, 0.00), (0.3, 0.00), (0.6, 0.00), (0.9, 0.00), (1.20, 2.00), (1.50, 6.00), (1.80, 9.50), (2.10, 14.0), (2.40, 16.5), (2.70, 18.5), (3.00, 19.5)
- Solicitud_de_recursos_al_Estado = GRAPH(Brecha_obras_en_exhibición)
(-100, 0.00), (-80.0, 0.00), (-60.0, 0.00), (-40.0, 0.00), (-20.0, 0.00), (0.00, 1.5e+007), (20.0, 2.5e+007), (40.0, 3.7e+007), (60.0, 4.8e+007), (80.0, 5.6e+007), (100, 6.2e+007)

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

ANEXO 2. Resultados de la simulación experimental

Obras en exhibición: 1-2-3-4-5-6-

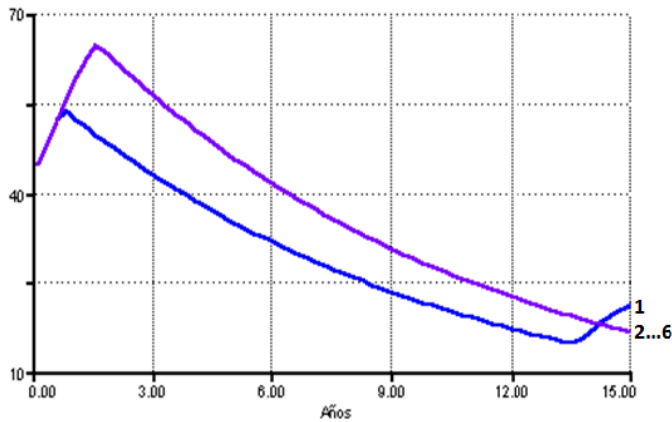


Desactivación del ciclo y variación del parámetro Obras en exhibición

1	Ciclo activado
2	45
3	10
4	30
5	50
6	70

Figura A2-1. Experimento 1. Obras en exhibición con el ciclo R2 desactivado.

Obras en exhibición: 1-2-3-4-5-6-

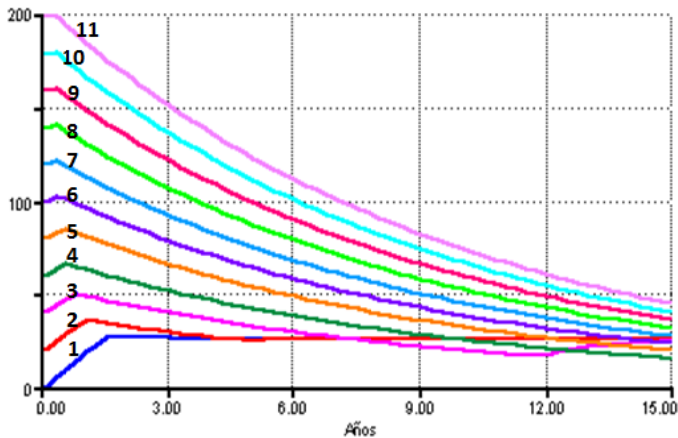


Desactivación del ciclo y variación del parámetro Nuevas adquisiciones

1	Ciclo activado
2	0
3	20
4	40
5	60
6	80

Figura A2-2. Experimento 2. Obras en exhibición con el ciclo B4 desactivado.

Obras en exhibición: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-



Análisis de sensibilidad sobre el valor inicial de la variable Obras en exhibición

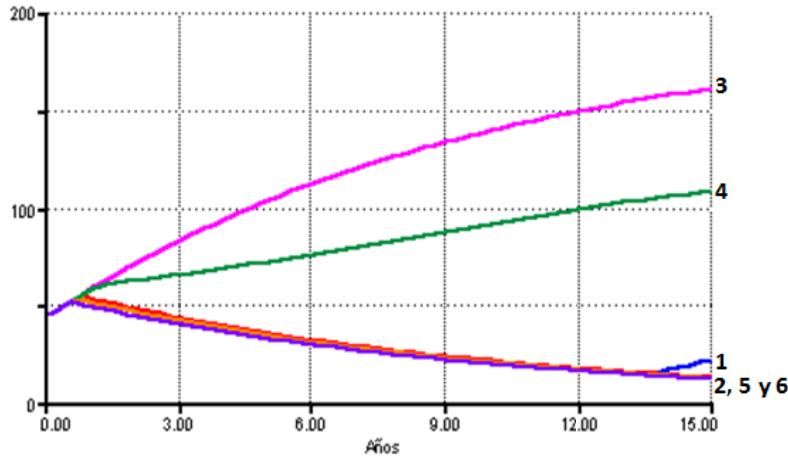
1	0
2	20
3	40
...	...
10	180
11	200

Figura A2-3. Experimento 3. Obras en exhibición con variaciones sobre el valor inicial de obras en exhibición.

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

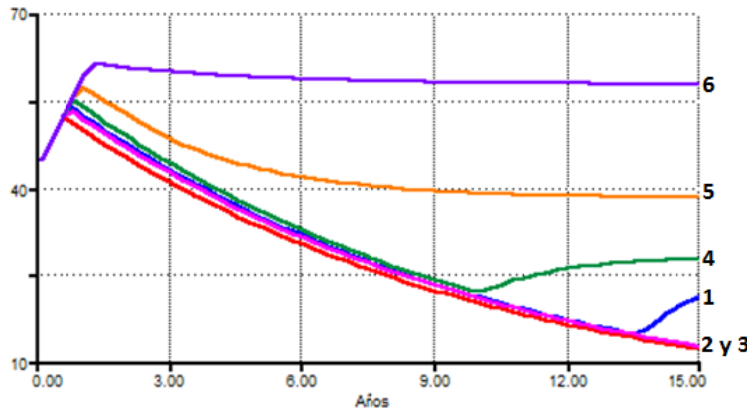
Obras en exhibición: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 -



Desactivación del ciclo y variación del parámetro Obras en exhibición	
1	Ciclo activado
2	45
3	10
4	30
5	50
6	70

Figura A2-4. Experimento 4. Obras en exhibición con el ciclo B2 desactivado.

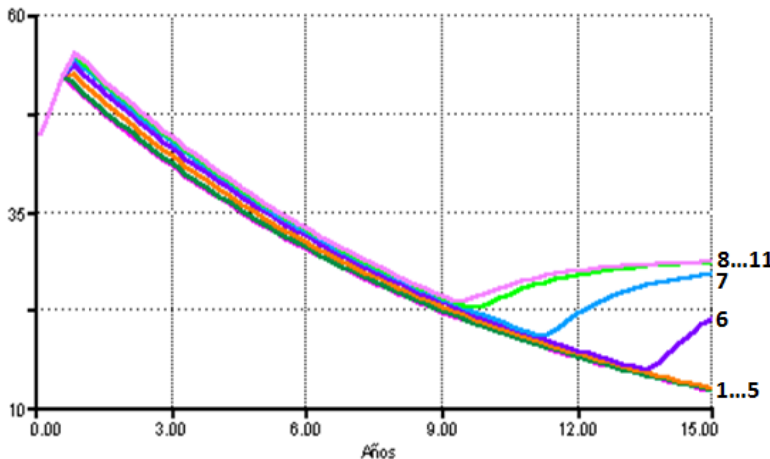
Obras en exhibición: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 -



Desactivación del ciclo y variación del parámetro Solicitud de recursos	
1	Ciclo activado
2	20.000.000
3	40.000.000
4	60.000.000
5	80.000.000
6	100'000,000

Figura A2-5. Experimento 5. Obras en exhibición con el ciclo B1 desactivado.

Obras en exhibición: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 -



Análisis de sensibilidad sobre la variable Meta de obras en exhibición	
1	0
2	20
3	40
...	...
10	180
11	200

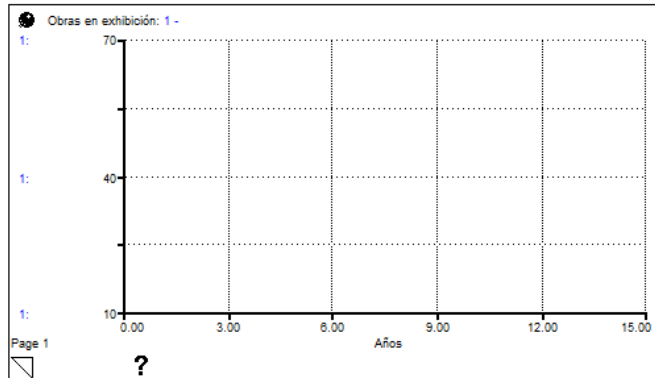
Figura A2-6. Experimento 6. Obras en exhibición con variaciones sobre el valor inicial de la meta de obras en exhibición.

y

II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 2011

ANEXO 2. Interfaz del simulador del modelo

Kalaa
Museo de arte



CONTROLES DEL SIMULADOR

Sensi Specs... Run Restore All Devices Save Exit

DESACTIVACIÓN DE CICLOS

Ciclo R1: Obras en exhibición con ciclo R1 desactivado. Slider: 0.000 to 100.000, value: 45.000

Ciclo B2: Obras en exhibición con ciclo B2 desactivado. Slider: 0.000 to 100.000, value: 45.000

Ciclo B1: Solicitud de recursos con ciclo B1 desactivado. Slider: 0.0000 to 1.5000, value: 0.4525 x 10³

Ciclo B3: Obras en exhibición con ciclo B3 desactivado. Slider: 0.000 to 100.000, value: 45.000

Ciclo R2: Obras en exhibición con ciclo R2 desactivado. Slider: 0.000 to 100.000, value: 45.000

Ciclo B4: Nuevas adquisiciones con ciclo B4 desactivado. Slider: 0.000 to 100.000, value: 20.000

ANÁLISIS DE PARÁMETROS

Ciclo R1
Fracción de consecución
Fracción... del Estado

Ciclo B1
Meta de oferta y petición recursos
Meta de obras en exhibición: 0.000 to 200.000, value: 100.000
Solicitud ... al Estado

Ciclo R2
Ingresos de los visitantes
Ingresos por visitante: 0 to 100000, value: 5000
Visitantes por obra: 0.000 to 800.000, value: 100.000

Ciclo B2
Ingresos de los visitantes
Gasto por obra exhibida: 0.0000 to 3.0000, value: 1.5000 x 10⁵
Valor de referencia de dinero: 0.0000 to 8.0000, value: 0.7000 x 10⁷

Ciclo B3
Tiempo de exhibición de las obras
Tiempo de exhibición: 0.000 to 100.000, value: 10.000

Ciclo B4
Costos por adquisición de obras
Costo por obra adquirida: 1.0000 to 5.0000, value: 2.0000 x 10⁵

Figura A2-7. Interfaz del simulador del modelo.