

“Las Organizaciones del hoy y del futuro deben ser Organizaciones del Conocimiento, es decir, Inteligentes.”

Julio Luis Tenorio Cabrera.

DINÁMICA DE SISTEMAS

“Visión Sistémica del Mundo Real”

Julio Luis Tenorio Cabrera.

INDICE	1
PRESENTACION	3
LA METODOLOGIA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS	4
ETAPAS DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS	6
Figura 1. La metodología de la Dinámica de Sistemas.	7
ETAPA Nº 1: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	8
Figura 2. Actividades y resultado de la etapa 1.	8
Figura 3. Vista gráfica de la etapa 1.....	10
Figura 4. Ejemplo de los resultados estadísticos de la etapa 1.....	11
Figura 5. Ejemplo de cuadro pictográfico.....	12
ETAPA Nº 2: DIAGRAMA CAUSAL	13
Figura 6. Ejemplo de ciclo de retroalimentación. Grafica en VENSIM PLE	14
Figura 7. Ejemplo de ciclos de retroalimentación. Grafica en VENSIM PLE	15
Figura 8. Ejemplo de compatibilidad de unidades. Grafica en VENSIM PLE	15
Figura 9. Ejemplo de Bucle Positivo Virtuoso. Gráfica en Vensim PLE	18
Figura 10. Ejemplo de Bucle Positivo Vicioso. Gráfico en Vensim PLE	18
Figura 11. Ejemplo de Bucle Negativo. Gráfico en Vensim PLE	19
Figura 12. Proceso para elaboración del Diagrama Causal Oficial.....	20
Figura 13. Ejemplo de un Diagrama Causal.....	21
ETAPA Nº 3: CÓDIGO DE VARIABLES	24
Figura 14. Tabla para descripción de variables.	24
Figura 15. Ejemplo de descripción de variables.	25
ETAPA Nº 4: DIAGRAMA FORRESTER	26
Figura 16. Representación formal del tipo de variables.....	26
Figura 17. Representación de símbolos de la Dinámica de Sistemas en Stella 9.0.2.....	27
Figura 18. Ejemplo de Diagrama Forrester. Diagrama en Stella 9.0.2.....	29
Figura 19. Vista Mapa de Interfaz en Stella.	30
Figura 20. Vista Mapa de Modelo en Stella.	31
Figura 21. Vista Modelo Matemático en Stella.	32
ETAPA Nº 5: SISTEMA DE ECUACIONES.....	33
Figura 22. Vista para setear las condiciones para la simulación.....	33
Figura 23. Vista para setear inicio y término de la simulación.	34

Figura 24. Vista para seleccionar simulación gráfica.	35
Figura 25. Vista para seleccionar área para la simulación gráfica.	36
Figura 26. Vista para seleccionar variables a visualizar en la simulación gráfica.	37
Figura 27. Vista que muestra resultado de la simulación gráfica.	38
Figura 28. Vista que muestra resultado de la simulación numérica.	39
Figura 29. Vista que muestra el estadio previo a la aplicación de la función graph.	42
Figura 30. Vista que muestra el proceso de la aplicación de la función graph.	43
Figura 31. Vista que el proceso de ingreso de datos para la función graph.	44
Figura 32. Vista que muestra apariencia de variable en la cual se ha aplicado la función graph.	44
ETAPA Nº 6: CALIBRADO DEL MODELO	45
Figura 33. Comparación entre resultados de la simulación y datos históricos.	45
ETAPA Nº 7: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	46
Figura 34. Ejemplo de Modelo Forrester para el Análisis de Sensibilidad.	47
Figura 35. Variables candidatas a seleccionar para el análisis de sensibilidad.	48
Figura 36. Variable seleccionada para el análisis de sensibilidad.	49
Figura 37. Valores máximo, actual y mínimo para la variable seleccionada para el análisis de sensibilidad.	50
Figura 38. Interfaz para seleccionar la variable nivel para el análisis de sensibilidad.	51
Figura 39. Resultado de la simulación gráfica en el análisis de sensibilidad.	52
ETAPA Nº 8: EVALUACIÓN DEL MODELO	53
Figura 40. DASHBOARD construido en Stella 9.0.2	54
Figura 41. Algunos objetos de la pestaña INTERFACE de Stella para la construcción del DASHBOARD.	55
ETAPA Nº 9: UTILIDAD DEL MODELO	56
Figura 42. Ejemplo de cálculo de la utilidad de implementar los cambios en la problemática estudiada.	56
SITIO WEB	57

PRESENTACION

Es urgente en estos tiempos de tanta complejidad, hacer uso de metodologías adecuadas para estudiar las problemáticas que se presentan en este mundo actual y que necesitan ser, si no en el mejor de los casos solucionadas, pero al menos si menguar sus negativas consecuencias. Es así, que se presenta este texto que describe y utiliza a la Dinámica de Sistemas, como una de las metodologías sistémicas idóneas para este propósito, en base a una explicación de la misma de una forma sencilla pero completa así como en su aplicación para el estudio de diferentes casos.

Cabe señalar que esta obra, no pretende ser la perfección en el estudio de la Metodología de la Dinámica de Sistemas, sino más bien, pretende ser un instrumento de ayuda para el interesado en aprender esta metodología para su posterior aplicación, realizando una explicación detallada y completa de cada etapa de la misma, complementándola con el desarrollo de ejercicios de una manera entendible para el lector.

Se agradece en primer lugar a Dios por permitir que el autor del presente texto haya sido estudiante y colaborador del Dr. Ing. Ricardo Aurelio Rodríguez Ulloa, fundador y presidente del Instituto Andino de Sistemas (IAS) (Lima – Perú) quién nos guió en el aprendizaje de la Metodología de la Dinámica de Sistemas, lo que le ha permitido plasmar, información muy valiosa sobre esta metodología. Así también agradecer al Mg. Ing. Walter Marticorena, docente de la Universidad de Lima, de quién también se aprendió mucho sobre la Dinámica de Sistemas.

Finalmente se agradece toda crítica constructiva a esta obra, ya que eso permitirá enriquecer el contenido de la misma y así poder contribuir cada vez de mejor manera, con el aprendizaje y aplicación de la Metodología de la Dinámica de Sistemas para proponer estrategias viables de disolución, es decir estrategias culturalmente factibles y sistémicamente deseables (eficaces, eficientes y efectivas), a las problemáticas de este mundo cada vez más complejo.

Julio Luis Tenorio Cabrera.

LA METODOLOGIA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS DEFINICION

La Dinámica de Sistemas es una metodología creada por el Ingeniero **Jay Wright Forrester** (n.1918) en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en los Estados Unidos de Norteamérica para el estudio de situaciones problemáticas del mundo real en las que el grado de complejidad está en función a dos características: la presencia de ciclos de retroalimentación y la presencia de retrasos.

Forrester y su equipo al analizar los pedidos de una empresa fabricante de componentes electrónicos observaron que aunque el número de clientes era pequeño y por lo tanto el flujo de pedidos se esperaba constante, aparecían no obstante grandes oscilaciones en el mismo. Se investigaron técnicas de investigación operativa y se realizaron simulaciones bajo el método de Monte-Carlo, dirigido todo por el equipo de Forrester. Este método resultó ser insuficiente para dar una explicación razonable al tiempo que se descubrió que una combinación de retrasos en la transmisión de información con estructuras de realimentación que se producían dentro del modelo, eran el origen de las oscilaciones.

La Dinámica de Sistemas es pues una metodología rigurosa de modelado que nos permite construir simulaciones formales de sistemas complejos y usarlas para diseñar e implementar políticas administrativas más efectivas.

Es importante aclarar qué tipo de modelos se elaboran con la Dinámica de Sistemas, ya que tenemos por un lado los modelos de predicción, los que pretenden suministrar datos precisos acerca de la situación futura del sistema modelado y, por otro lado tenemos los modelos de gestión, es decir, modelos que pretenden establecer que “la alternativa x es mejor que la alternativa y” no importando tanta precisión ya que las comparaciones son igualmente útiles. La Dinámica de Sistemas elabora modelos de esta segunda clase. Así también es muy importante dejar muy claro al lector, es decir, la Dinámica de Sistemas estudia situaciones problemáticas que atraviesa por ejemplo una empresa, no a la empresa como una estructura organizacional. Además hay que recordar que los sistemas que estudia la Dinámica de Sistemas, son Sistemas de Actividad Humana, es decir situaciones problemáticas.

Para aclarar lo anteriormente señalado, imaginemos que se quiere aplicar la Dinámica de Sistemas para mejorar el clima laboral de la empresa ABC, entonces el sistema a estudiar estará constituido por aquellos elementos de la empresa ABC que determinan el clima laboral de la empresa.

Ahora si bien es cierto que la Dinámica de Sistemas estudia Sistemas de Actividad Humana, debemos recordar que dentro de este tipo de sistemas podemos encontrar otros tipo de sistemas como son: Sistemas Naturales. Sistemas Artificiales, Sistemas Culturales y también otros Sistemas de Actividad Humana, esto tomado de la clasificación que hace el Pensamiento Sistémico sobre los tipos de sistemas.

Cabe también ser oportuno, recordando que con la Dinámica de Sistemas se va a hacer un trabajo de Modelamiento y Simulación Continua de Sistemas, es decir se analizará al sistema en estudio en función su variación en el tiempo.

También se debe recordar que se aplicarán los tres pilares del Pensamiento Sistémico, en el trabajo a desarrollar con la Dinámica de Sistemas, es decir, la Holística, la Hermenéutica y la Fenomenología.

Pregunta para el lector: ¿Porqué la Dinámica de Sistemas es una metodología y no un método?

ETAPAS DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Esta metodología presenta 9 etapas, las cuáles son :

1. Descripción del sistema.
2. Diagrama causal o diagrama de influencias.
3. Código o cuadro de variables.
4. Diagrama Forrester o diagrama de flujos.
5. Sistema de ecuaciones.
6. Calibrado del modelo.
7. Análisis de sensibilidad.
8. Evaluación del modelo.
9. Utilidad del modelo.

En la Dinámica de Sistemas, por ser una metodología, el trabajo permite retroalimentarse, es decir, si nos encontramos en el desarrollo de una etapa y nos percatamos que tenemos que reforzar o corregir alguna otra etapa anterior ya desarrollada, pues se puede realzar los ajustes necesarios en las etapas previas ya desarrolladas sin la necesidad de rehacer todo el estudio. Esto se puede observar en el siguiente gráfico que muestra a la Dinámica de Sistemas bajo una visión integral:

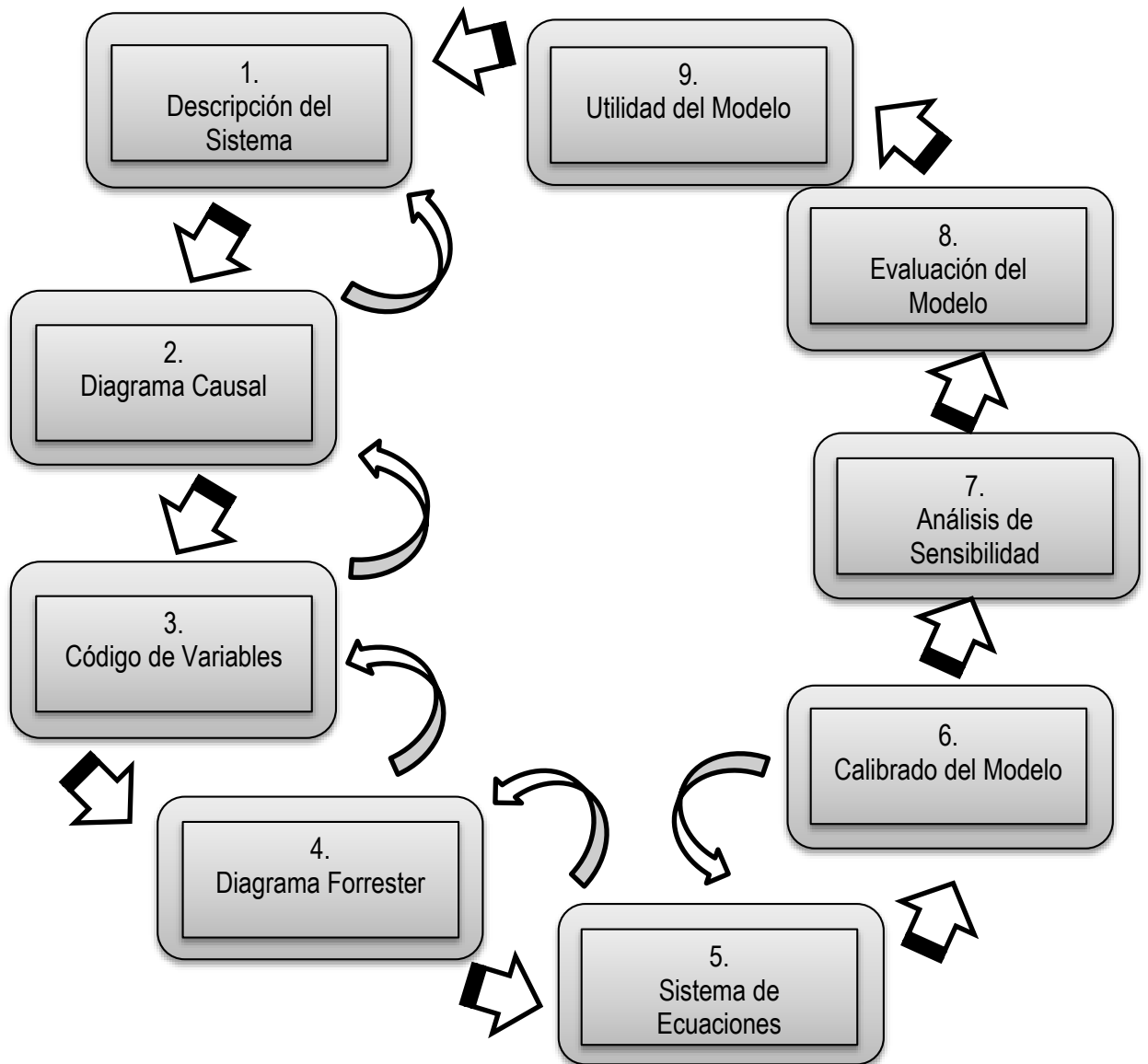


Figura 1. La metodología de la Dinámica de Sistemas.

Luego se explicará el porqué, por ejemplo, de la etapa 6, se puede trabajar de forma retroalimentativa cuando se explique el desarrollo de cada etapa. A continuación se explica cada una de las etapas de la Dinámica de Sistemas.

ETAPA Nº 1: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Antes de empezar a explicar cada una de las 9 etapas de la Dinámica de Sistemas, se cree oportuno mencionar que dicha explicación estará en función a considerar dos aspectos para cada etapa. Dichos aspectos son: las actividades que se deben llevar en la etapa y el resultado que debe de producir la misma. Esto se hace con la finalidad de orientar toda la teoría de la metodología al desarrollo de proyectos. Así también se debe delimitar el ámbito geográfico para el estudio.

Entonces en lo que se refiere a la primera etapa se describe a continuación los aspectos ya mencionados en el anterior párrafo.

ACTIVIDADES	RESULTADO
a. Descripción del sistema.	d. Información expresada estadísticamente.
b. Descripción del entorno.	
c. Elaboración de los Instrumentos para el levantamiento de información.	e. Variables, que son los elementos que participan en le problemática.

Figura 2. Actividades y resultado de la etapa 1.

a. Descripción del sistema. La descripción del sistema (recordar que el sistema a describir es la situación problemática), se hace en función a tres elementos:

- ✓ Sujetos. Se listan y explican cada una de las personas que viven la problemática, describiendo el rol que desempeñan en la misma.
- ✓ Objetos. Se listan y explican cada una de las elementos físicos que participan en la problemática, describiendo el rol que desempeñan en la misma.
- ✓ Conceptos. Se listan y explican cada una de las reglas o normas que se aplican o practican en la problemática.

- b. Descripción del entorno: La descripción de entorno, se hace en función a describir el entorno cercano y el entorno lejano del sistema en estudio. Para esto se empezará primero a continuación describiendo el entorno cercano.
 - ✓ Entorno cercano: Es el entorno que influye y es influenciado por el sistema en estudio. Está constituido por los siguientes sistemas: (Se asuma que el lector ya conoce el significado de cada uno de los sistemas que se listan a continuación).
 - Suprasistemas.
 - Infrasisistemas.
 - Isosistremas.
 - Heterosistemas.
- c. Elaboración de los Instrumentos para el levantamiento de información. Se elabora y aplica todos los medios necesarios para obtener información de la problemática en estudio. Estos instrumentos pueden ser: encuestas, entrevistas, guías de observación, visita a la web del sistema, documentos para obtener datos históricos, etc.
- d. Información expresada estadísticamente. Una vez aplicados cada uno de los instrumentos para obtener información, se procesan las respuestas y se expresan con gráficos o tablas estadísticas. Estos resultados serán los que permitirán alimentar en el futuro el modelo matemático a través del cual al ser simulado, se obtendrá el comportamiento del sistema en estudio.
- e. Variables. Después de haber aplicado las encuestas o entrevistas respectivas a quienes tienen el poder de decisión sobre la problemática, se deberán obtener las variables que forman parte de la problemática en estudio. Se debe definir sobretodo con el tomador de decisiones en la problemática, cuáles serán las variables de estado, las que son aquellas mediante las cuales al ser simuladas en el tiempo, reflejará el comportamiento del sistema en estudio.

A continuación se muestra un ejemplo: La situación problemática en estudio (Sistema de Actividad Humana) es la Competitividad de la empresa ABC en la ciudad de Trujillo. Entonces, el siguiente grafico sintetiza las actividades a realizar en la descripción del sistema:

Delimitación para el estudio: Ciudad de Trujillo.

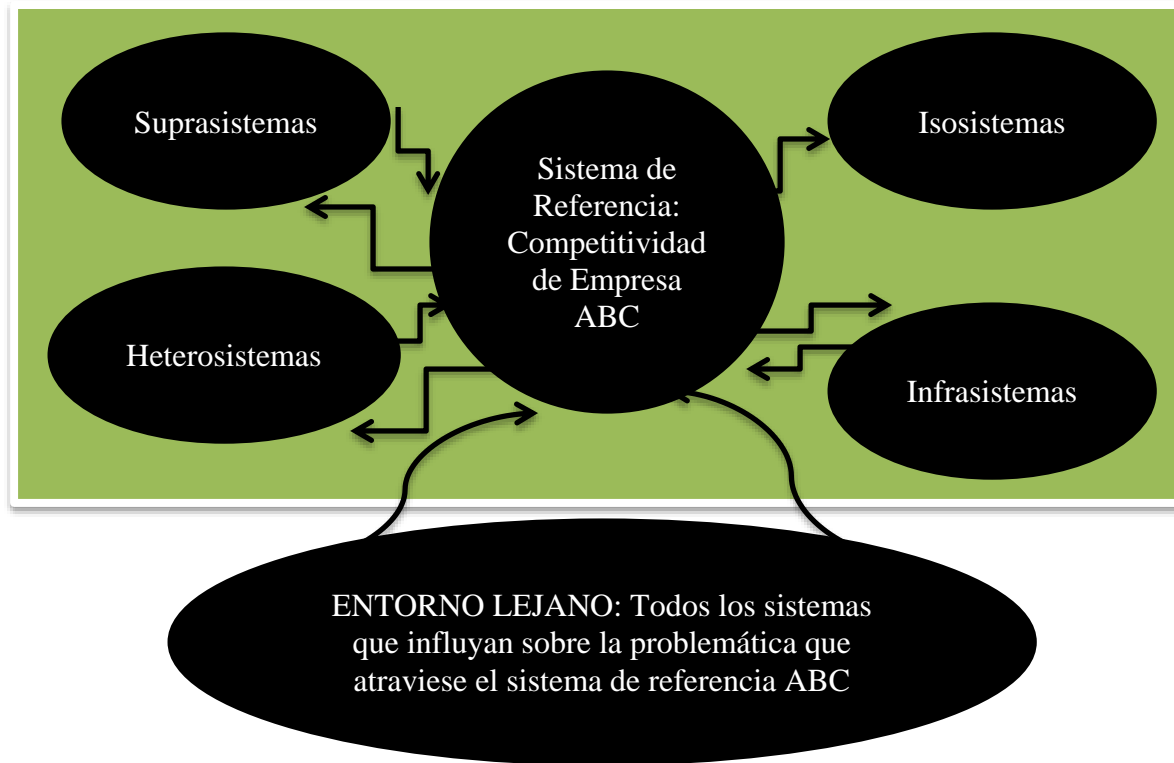


Figura 3. Vista gráfica de la etapa 1.

Asi también, se debe aclarar que el marco de referencia es solo para determinar los diferentes sistemas, que estarán presentes en el estudio de la problemática, siendo en este caso el sistema de referencia, un Sistema de Actividad Humana: **“La Competitividad de la Empresa ABC”**, el entorno cercano constituido por los tipos de sistemas ya mencionados anteriormente y que estan dentro del rectángulo que representa al distrito de Trujillo y el Entorno Lejano lo que esta fuera del mismo.

En lo que respecta a la elaboración y aplicación de las encuestas, entrevistas, etc, se asume que el lector ya tiene experiencia en estas herramientas.

Finalmente, en lo que se refiere al resultado de la etapa 1, por cada pregunta (casi en todos los casos), se debe elaborar un gráfico estadístico, como por ejemplo:

Pregunta 3: ¿Está Ud. de acuerdo con la calidad de servicio de esta empresa?

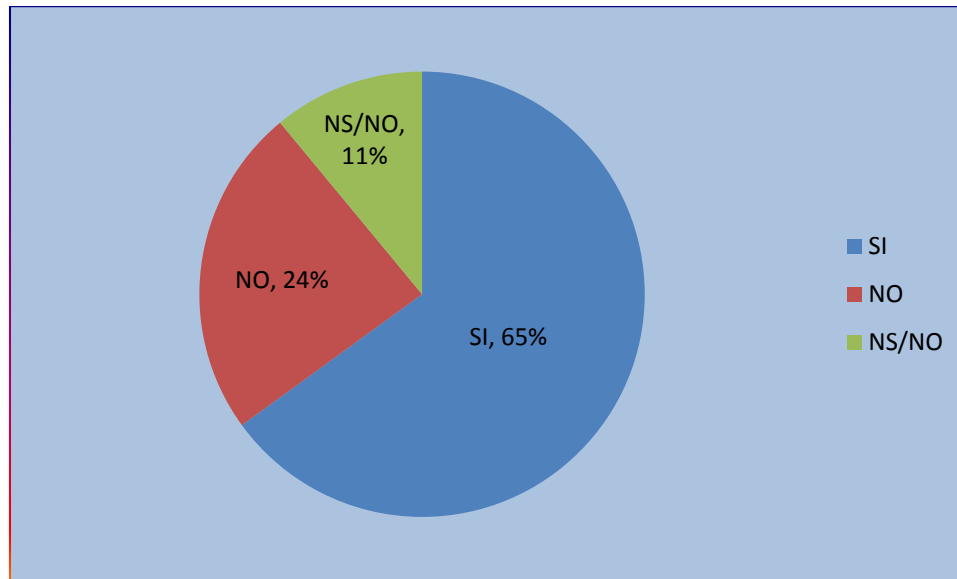


Figura 4. Ejemplo de los resultados estadísticos de la etapa 1.

Luego para culminar, esta etapa, se debe de identificar las variables, como se había descrito anteriormente, pero en especial las variables que deben definirse son las variables de estado, las cuales mas adelante serán en la fase de modelamiento y simulación, las variables del tipo NIVEL. Para este ejemplo, se asume que las variables de estado son: utilidad y cartera de clientes fijos.

Además, es posible valerse de otras metodologías sistémicas, para presentar a una primera expresión la situación problemática en estudio. Una de estas metodologías es la Metodología de Sistemas Blandos (Ph.D. Peter Checkland), a través del cuadro pictográfico que es una herramienta sistémica para mostrar la problemática en estudio. A continuación se muestra un ejemplo de esta herramienta (se asume que la persona que lee este libro, ya tiene conocimientos del cuadro pictográfico):



Figura 5. Ejemplo de cuadro pictográfico.

ETAPA Nº 2: DIAGRAMA CAUSAL

En esta etapa el equipo estudioso de la problemática, debe estructurar el comportamiento de la misma, en base a la información recopilada en la Etapa No. 1, a través de dos elementos, los cuales son:

- Variables.
- Relaciones.

En lo referente a variables, estas son todas aquellos elementos que participan en la problemática, afectando y siendo afectados a y por otras variables, o solamente afectando. Esto quiere decir que en un diagrama causal o llamado también diagrama de influencias, se deben de representar, las causas y los efectos entre variables que más adelante se expresaran a través de ecuaciones matemáticas y/o funciones especiales para expresar la relación entre las variables.

Luego las variables, deben ser expresadas relacionándose a través de dos tipos de relaciones: directa o inversa. Una relación es directa si es que la causa aumenta y el efecto aumenta o la causa disminuye y el efecto disminuye; en el caso de las relaciones inversas, se dice que la causa aumenta el efecto disminuye o la causa disminuye y el efecto aumenta. Para las relaciones directas la representación es a través del signo “+” y para las relaciones inversas a través del signo “-”.

Ejemplo:

Relación directa: Ingresos ----- ⁺ Utilidades

“Si los ingresos aumentan entonces la utilidad aumenta, o si los ingresos disminuyen, la utilidad disminuye”

Relación inversa: Egresos ----- > Utilidades

“Si los egresos aumentan entonces la utilidad disminuye, o si los egresos disminuyen, la utilidad aumenta”

Pero, lo más resaltante en un diagrama causal, es la representación de los círculos de retroalimentación, que muchas veces, las personas inmersas en la problemática, no identifican por no tener una visión correcta para observar los acontecimientos del mundo real. Esto debido a que por nuestra formación asistémica, nos acostumbramos a observar de manera incorrecta estos acontecimientos.

Un ejemplo de círculos de retroalimentación es el siguiente:

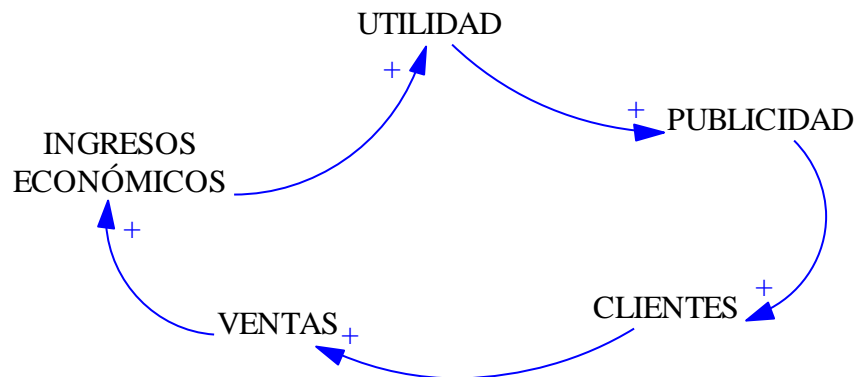


Figura 6. Ejemplo de ciclo de retroalimentación. Grafica en VENSIM PLE

Este círculo de retroalimentación, está indicando que cualquiera de las variables presentes en el mismo, se van a volver a afectar a si mismas como consecuencias que ellas mismas originan.

A continuación se proponen unas recomendaciones que ayudan a la construcción de un diagrama causal. Estas son:

- **Recomendación 01: Debe representarse los bucles de retroalimentación identificados.**

Ejemplo:

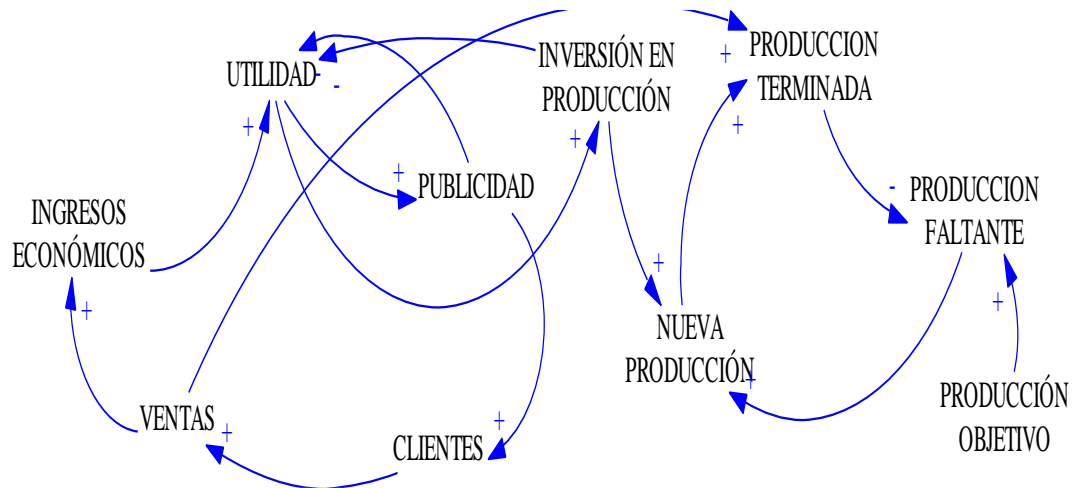


Figura 7. Ejemplo de ciclos de retroalimentación. Grafica en VENSIM PLE

Se debe recordar que un ciclo de retroalimentación es un lazo cerrado de influencias en un mismo sentido, sea horario o antihorario. Así también un ciclo de retroalimentación es conocido como bucle de retroalimentación.

- **Recomendación 02: Debe existir compatibilidad de unidades entre las variables que se relacionan.**

Ejemplo:

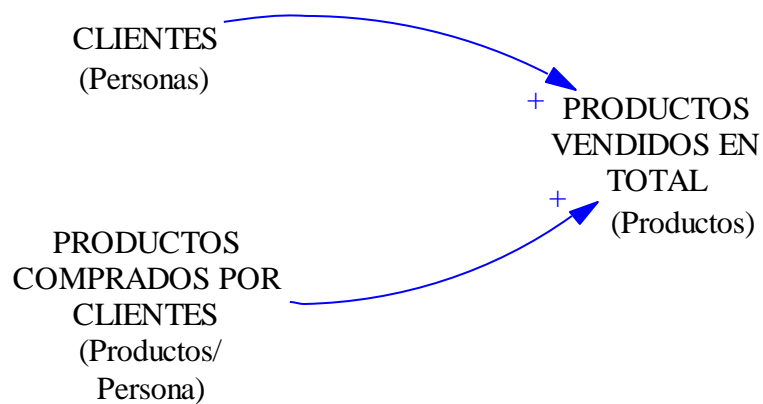


Figura 8. Ejemplo de compatibilidad de unidades. Grafica en VENSIM PLE

Esto se puede explicar matemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{Soles} = \text{Productos} * \text{Soles/Producto}$$

- **Recomendación 03:** Cada variables, debe ser descrita, en función a su nombre completo, tipo de variable, unidades, nemónico (abreviatura).

Ejemplo:

(Ingvent)
INGRESOS POR VENTAS
(N)(S/.)

En lo que se refiere al tipo de variable, esto se explicará conceptualmente en la Etapa No. 4 (Diagrama Forrester), pero se considera ahora hacer una primera explicación. Se consideran los siguientes tipos de variables:

- Nivel.
- Flujo.
- Auxiliar.
- Tasa.
- Parámetro.
- Exógena.

En lo que se refiere a los niveles, estos son las variables relevantes de la problemática, por ejemplo: Utilidad, las variables que se relacionan de manera directa con los niveles son los flujos, por ejemplo: Ingresos, las demás variables serán consideradas como auxiliares para realizar los cálculos previos para transmitir los resultados a los flujos, por ejemplo: Unidades Vendidas, las tasas y parámetros serán las constantes pertenecientes de manera interna en la problemática, por ejemplo: Porcentaje de la Utilidad para Inversión en Publicidad (Tasa) y Precio de Venta por Producto (Parámetro) y las exógenas aquellas que afectan por no pertenecen de manera interna a la problemática, por ejemplo: Pérdidas Económicas para la Organización por un Desastre Natural.

- **Recomendación 04: El Diagrama Causal debe ser Holístico, Hermenéutico y Fenomenológico. Esto quiere decir que las el Diagrama Causal debe ser Sistémico.**

En lo que se refiere a la visión Holística, recordar que esto se refiere a mostrar las variables (sean del sistema de referencia o del entorno), de la problemática de un manera integrada. Con respecto a la Hermenéutica, esta característica que nos dice que debemos representar la problemática en función del tiempo, es decir comom una película, se observará en la etapa de la simulación con mas claridad.

Finalmente en lo que se refiere a la Fenomenología, el diagrama causal, debe mostrar variables que sean producto de las diferentes perspectivas de la problemática.

- **Recomendación.05: Representar los Bucles Compensadores o Negativos y Reforzadores o Positivos.**

Es preciso y necesario explicar como se reconoce a un bucle reforzador asi como un bucle compensador. Un bucle reforzador es aquel lazo cerrado de influencias en donde todas las relaciones son directas o el número de relaciones inversas en par. Pero los bucles reforzadores pueden ser favorables o dañinos para el sistema en estudio. Se dice pues, que lo bucles reforzadores que hacen bien al sistema se conocen como bucles reforzadores virtuosos y los que hacen daño al sistema se conocen como bucles reforzadores viciosos.

Por otra parte los bucles compensadores o los llamados bucles negativos son necesariamente imprescindibles para un sistema, ya que este tipo de bucles permiten que el sistema posea estabilidad, ya que conducen a que cuando el sistema logre un objetivo, logre su estabilidad.

A continuación mostramos un ejemplo de bucle reforzador o positivo virtuoso:

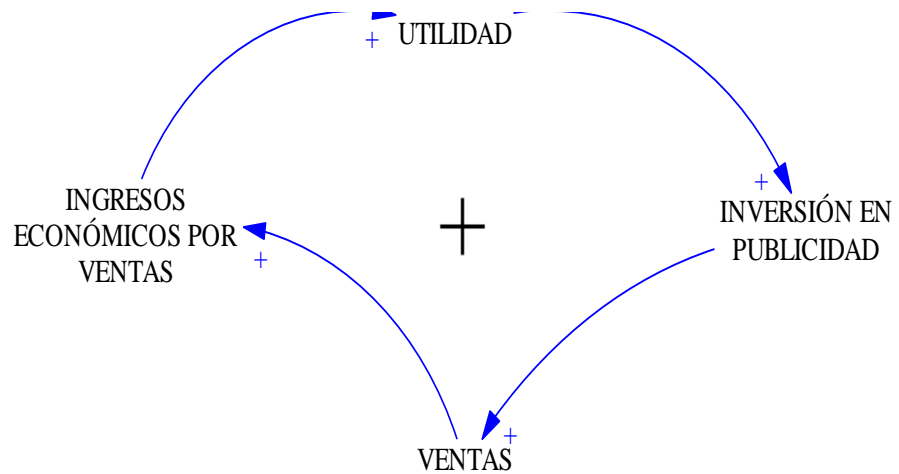


Figura 9. Ejemplo de Bucle Positivo Virtuoso. Gráfica en Vensim PLE

En este ejemplo, cabe explicar que a toda Organización le es favorable invertir siempre en publicidad para asegurar captar mas ventas, claro esto siempre de manera estratégica.

Mostramos ahora un ejemplo de bucle reforzador o positivo vicioso:

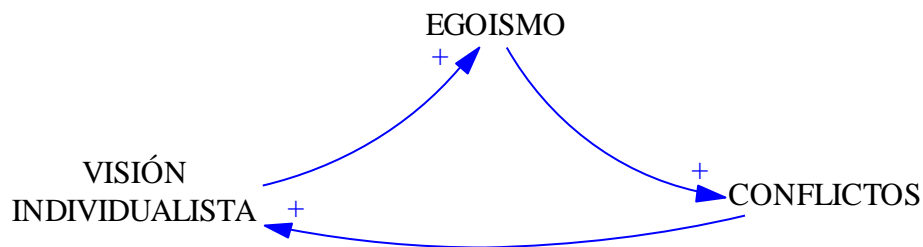


Figura 10. Ejemplo de Bucle Positivo Vicioso. Gráfico en Vensim PLE

En este caso, este ejemplo muestra lo peligroso que puede ser para una sistema organizacional, el hecho del egoísmo de algún o algunos colaboradores alimentaría los conflictos y priorizar la visión individualista, ya que este efecto es como una bola de nieve que poco a poco se haría mas difícil de controlar y cuando esto se quiera frenar sería muy riesgoso para la organización.

Una de las preguntas que se debe responder es: ¿Porqué es importante detectar los bucles positivos viciosos y virtuosos en el diagrama causal de la problemática de una Organización?, la respuesta es muy sencilla e importante. Los bucles positivos viciosos como sabemos, hacen daño a la Organización, entonces debemos ubicarlos para eliminarlos mediante cambios viables (la viabilidad de un cambio la explicaremos mas adelante), y los bucles positivos virtuosos como sabemos, hacen bien a la Organización por lo que debemos ubicarlos para mantenerlos u optimizarlos, tambien mediante cambios viables.

En lo que se refiere, a los bucles compensadores o negativos, estos como se dijo antes permiten que el Sistema Organizacional logre sus objetivos. A continuación mostramos un ejemplo de bucle negativo:

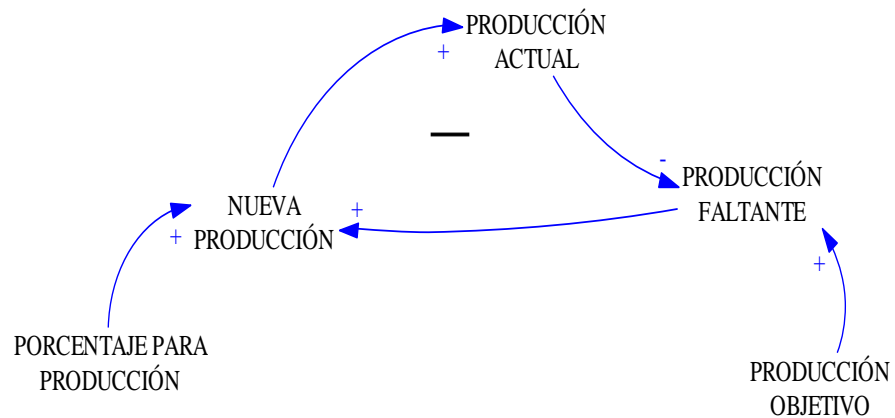


Figura 11. Ejemplo de Bucle Negativo. Gráfico en Vensim PLE

A continuación se explica este bucle graficado en la parte superior. Se dice que es un bucle negativo porque el número de signos negativos es impar, además hay un objetivo que la Organización desea cumplir o alcanzar, la producción objetivo, esto origina que a medida que la producción actual aumenta la discrepancia es decir la producción faltante disminuye, ya que la nueva producción que es un porcentaje del faltante, aumenta en función al porcentaje que se logra producir de la producción que falta.

Ahora lo que debemos dejar en claro es que solo por aspectos de explicación del bucle negativo se ha considerado la producción objetivo como una constante, pero si trabajamos este

bucle en todo un diagrama causal, la producción objetivo puede ser variable, esto ya que las organizaciones en casi todos los casos se fijan objetivos que el transcurrir del tiempo son cambiantes, ahora que si estos cambios son correctos, lograrán el desarrollo sostenido de la Organización.

El autor del presente texto, recomienda que el proceso de construcción del diagrama causal debe ser un proceso retroalimentativo, es decir, hacer primero un primer diagrama causal denominado: **CAUSAL BASE**, y luego con la aplicación de las recomendaciones que se consideran en la Dinámica de Sistemas, arribar al **DIAGRAMA CAUSAL OFICIAL y DEFINITIVO**. Esto se muestra en el siguiente gráfico:

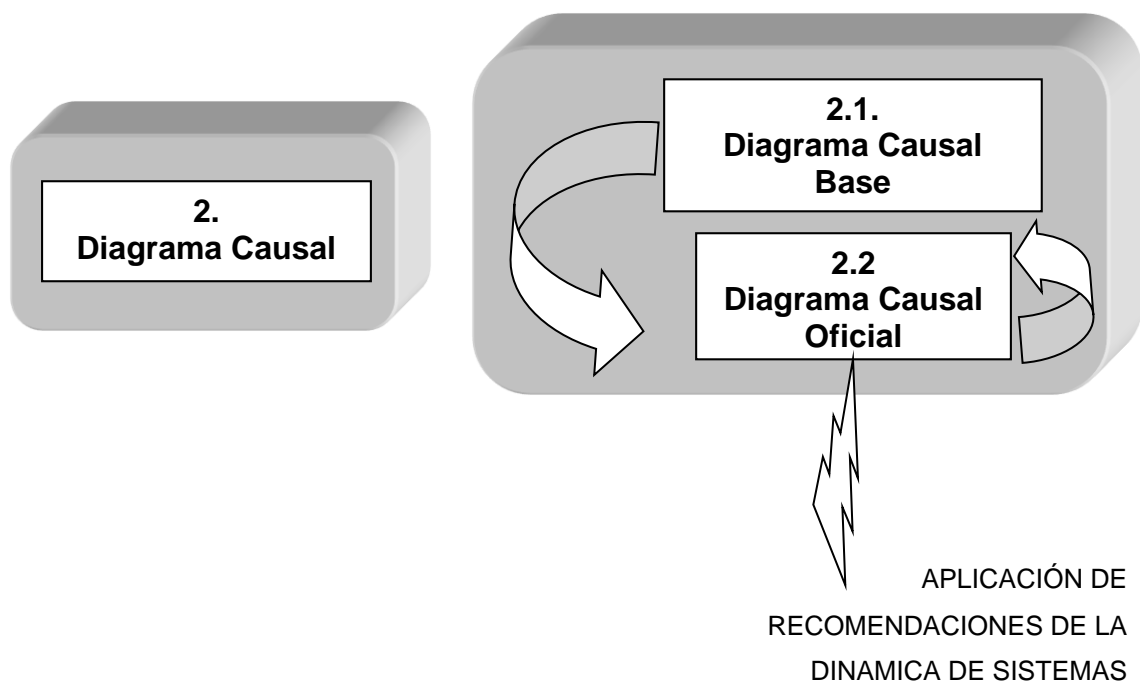


Figura 12. Proceso para elaboración del Diagrama Causal Oficial.

A continuación se muestra un ejemplo que sirva como guía para la construcción de un diagrama causal:

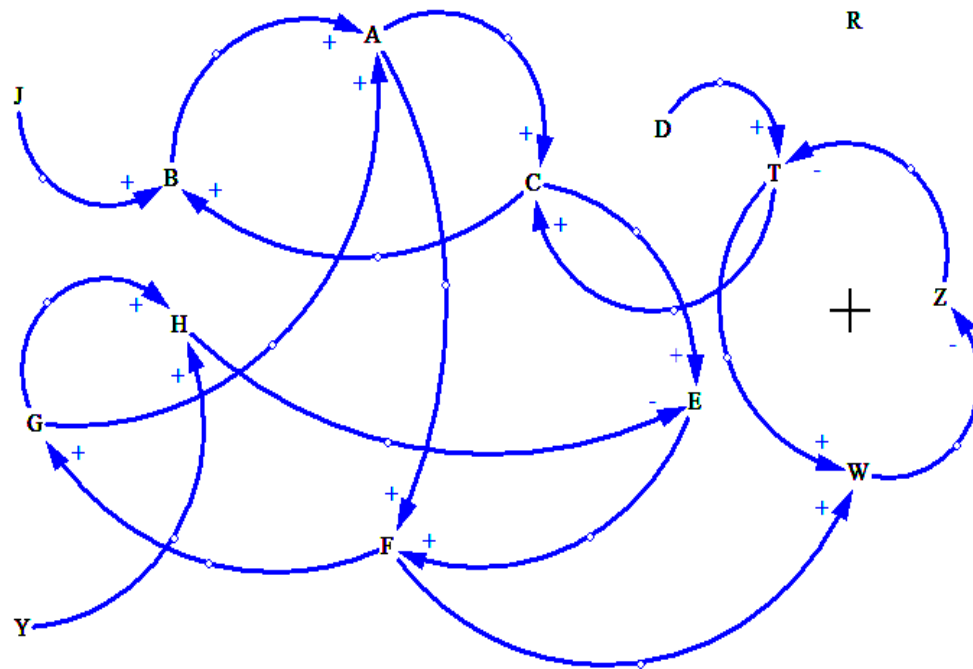


Figura 13. Ejemplo de un Diagrama Causal.

A continuación se plantea un caso de estudio para el desarrollo del diagrama causal de la problemática descrita:

“La Organización Móviles S.A., se dedica a la comercialización de teléfonos celulares con relativo éxito. Esto debido a que posee una cartera de clientes ganada por el buen servicio que brinda en función a sus equipos, pero no tan así en función a la tarifa única que posee que además es relativamente cara en función a las demás organizaciones que se dedican al mismo rubro. El Dpto. de Marketing de Móviles, a hecho un estudio de la competencia, y ha comprobado que existe un porcentaje de clientes de Móviles que anualmente cambian de Organización dejando de lado a ésta. La razón de este porcentaje de retiro, que casi todos los clientes afirman, es la elevada tarifa de Móviles, mientras que un pequeño porcentaje afirma lo hace porque otras razones naturales. Por el contrario, las razones de captar nuevos clientes, son : el buen servicio en función a sus equipos y el buen trato del personal hacia el cliente. Esta última se justifica, ya que Móviles S.A., capacita continuamente a su personal debido a que anualmente destina un porcentaje de las utilidades para capacitación.

En el campo de las utilidades, esta se ve afectada por los ingresos que se obtienen de las cobranzas por el servicio de telefonía y por otros ingresos de servicios complementarios que normalmente es una cantidad fija. Los egresos que afectan a la utilidad, están representados por el salario al personal tanto del nivel directriz, administrativo, operativo y de apoyo. Se debe tener en cuenta que la cantidad de empleados en cada nivel siempre se mantiene, solo en el caso del personal operativo se contratarán mas siempre y cuando los clientes aumenten y se despedirán si es que los clientes disminuyen. Existe una salario determinado para cada empleado de cada nivel. Otra de las razones para que el trato hacia el cliente sea buena es que la Organización Móviles siempre es puntual en los pagos a su personal, lo que motiva a que estos laboren con esmero.

Se ha determinado también que otro de los motivos de disminución de las utilidades de Móviles es que cuando hay fenómenos naturales que afectan al servicio. Se debe de destinar un monto de dinero para superar el problema en el servicio que normalmente es una cantidad fija.”

Solución

Etapas No. 1: Descripción del Sistema

Debemos de hacer referencia a que el levantamiento de información se ve reflejado en el texto descrito anteriormente, esto claro despues de haber realizado todas las actividades correspondientes a estaetapa, como por ejemplo: la aplicación de encuestas y entrevistas. (Esto solo porque se trata de una caso ejercicio).

Ahora procederemos a identificar las variables consideradas como reelevantes para el estudio de la problemática, no olvidando que se debe de listar todas las variables identificadas en el caso de estudio:

- Clientes.
- Utilidad.

Etapas No. 2: Elaboración del Diagrama Causal. (El Diagrama Causal deberá ser elaborado en el desarrollo de la sesión)

ETAPA N° 3: CÓDIGO DE VARIABLES

En esta etapa, se debe elaborar un cuadro descriptivo (como un diccionario de datos), con las variables presentes en el Diagrama Causal, de acuerdo al siguiente formato:

Nº.	Nombre	Mnemónico	Tipo	Unidades	Observación
-----	--------	-----------	------	----------	-------------

Figura 14. Tabla para descripción de variables.

En lo que se refiere a la columna identificada como **Nº.** ésta representa el orden correlativo para las variables, por ejemplo: 1, 2, etc.

La columna identificada con **Nombre**, describe la identificación de la variable, por ejemplo: Utilidad.

La columna identificada como **Mnemónico**, hace referencia a una abreviatura para identificar a la variable en el Diagrama Forrester, en lugar de escribir todo el nombre de la variable, solo se escribe el Mnemónico. Por ejemplo: Útil.

La columna referente al **Tipo**, describe la clasificación de cada variable, es decir si es Nivel, Flujo, Auxiliar, Tabla, Tasa, Parámetro o Variable Exógena, etc.

La columna denominada **Unidades**, identifica a la unidad de medida de la variable, por ejemplo: Soles.

La columna **Observación** hace referencia, a algún comentario sobre la variable, esta columna no es obligatoria a ser tomada en cuenta. Por ejemplo: "Información de Libros Contables."

A continuación se muestra un ejemplo del desarrollo de esta variable:

DINÁMICA DE SISTEMAS

Nº.	Nombre	Mnemónico	Tipo	Unidades	Observación
1	Utilidad	Util	Nivel	Nuevos Soles	
2	Ingresos	Ingr	Flujo	Nuevos Soles/Mes	
3	Clientes	Clie	Auxiliar	Personas	
4	Costo Unitario	Cost	Constante	Nuevos Soles/Producto	Fuente: Dpto. de Ventas.

Figura 15. Ejemplo de descripción de variables.

Lo que no debemos olvidar es que este diccionario de datos, debe coincidir con la descripción de las variables en el Diagrama Causal.

ETAPA Nº 4: DIAGRAMA FORRESTER

En esta etapa No. 4, el equipo estudioso de la problemática, deberá graficar el **DIAGRAMA FORRESTER** o llamado también **DIAGRAMA DE FLUJOS** utilizando la simbología específica de Jay Forrester en su Metodología, haciendo uso de símbolos especiales que identifican a cada variable de la problemática.

La simbología a ser utilizada en esta etapa es la siguiente:


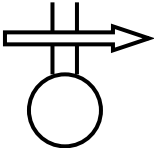


-  : Nivel, Variable de Estado, Level, Stock.
-  : Flujo, Flow.
-  : Variable Auxiliar, Tabla, Tasa, Parámetro, Exógena.
-  : Relación entre variables.

Figura 16. Representación formal del tipo de variables.

Debemos en este punto mencionar que dependiendo del Software que se utilice para el modelamiento y simulación en Dinámica de Sistemas, los símbolos originales de la metodología, tendrán una representación particular, por ejemplo, el Stella, los símbolos se representan de la siguiente manera:

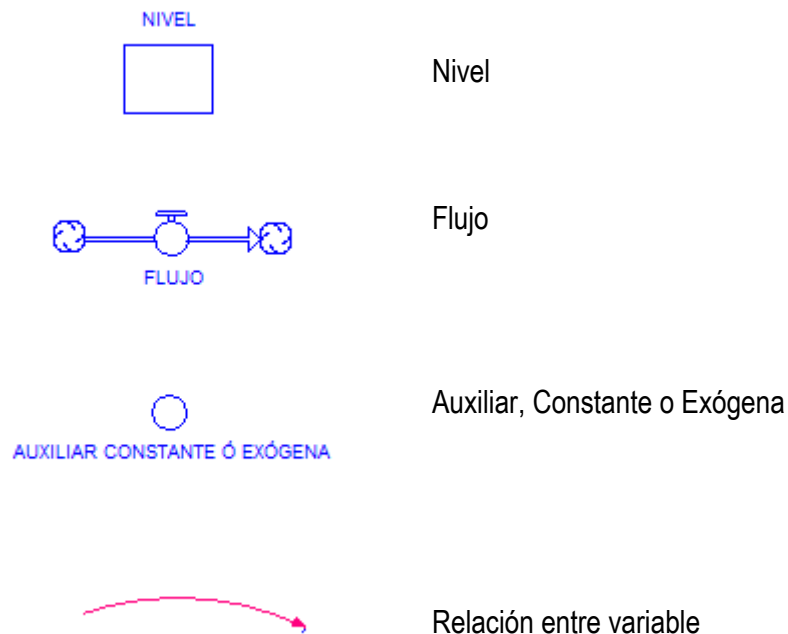


Figura 17. Representación de símbolos de la Dinámica de Sistemas en Stella 9.0.2.

Lo que se debe dejar en claro es que el Diagrama Forrester, debe tener las mismas variables y las mismas relaciones que el Diagrama Causal, pero ante esto podría surgir la pregunta: Porqué graficar dos diagramas que expresan exactamente lo mismo?. La respuesta es muy sencilla pero importante, un Diagrama Causal puede ser entendido por cualquier persona así conozca o no de Dinámica de Sistemas, pero el Diagrama Forrester será entendido solamente por las personas que conozcan Dinámica de Sistemas.

En esta etapa es muy importante, explicar la concepción de cada tipo de variable, para poder evitar cometer errores en el momento de la relación de las mismas. Empezaremos, con la explicación de cada tipo de variable.

La variable Nivel, es conocida como variable de estado, es decir, las variables que para es estudio en coordinación entre las personas que tienen el poder de decisión en la problemática y el equipo que estudia de la problemática, representen prioridad en su análisis; deberán ser clasificadas

como niveles. Los niveles son variables que en el tiempo van acumulando las entradas y las salidas que les afecten.

Por ejemplo, una variable nivel a considerar es la utilidad. Esto quiere decir que la utilidad, será el resultado del valor inicial de la utilidad mas los ingresos menos los egresos económicos que la organización registre.

Además, las variables nivel, son consideradas como variables de estado, porque van a permitir en el tiempo reflejar el estado o situación de la Organización.

Las variables, denominadas Flujos, son aquellas variables que se relacionan directamente con los niveles, deben tener las mismas unidades que el nivel respectivo al cual acumulan o desacumulan. Lo que no debemos de olvidar es que los flujos son variables que expresamente indican sus unidades en función del tiempo, ya que representan la razón de cambio de los niveles. Por ejemplo: Ingresos, pues estos van a incrementar a la Utilidad.

Las variables, conocidas como auxiliares, son las variables que permiten realizar los cálculos previos para transmitir dicha información a los flujos para que acumulen o desacumulen a los niveles. Las variables auxiliares se pueden expresar en función a operaciones matemáticas simples en base a la relación de las otras variables que las afectan, o también en base a funciones especiales del software que se utiliza para la simulación siempre y cuando represente esta función el comportamiento verdadero de la variable auxiliar. (En este caso el software que utilizaremos para la simulación es Stella 9.0.2. Para mayor información sobre este software puede visitar el sitio Web <http://www.iseesystems.com/> antes <http://www.hps-inc.com/>).

Luego se explicarán, algunas de las funciones más utilizadas en el software de simulación Stella 9.0.2. Ahora en lo que se refiere a las variables constantes de la Dinámica de Sistemas, estas pueden ser tasas o parámetros. Una tasa es aquella constante que no tiene unidades y un parámetro es una constante que si posee unidades. Se debe dejar en claro que las tasas o parámetros pueden sufrir cambios si es que el modelador considera asignarles un valor para proponer a la Organización diferentes escenarios como soporte para la toma de decisiones.

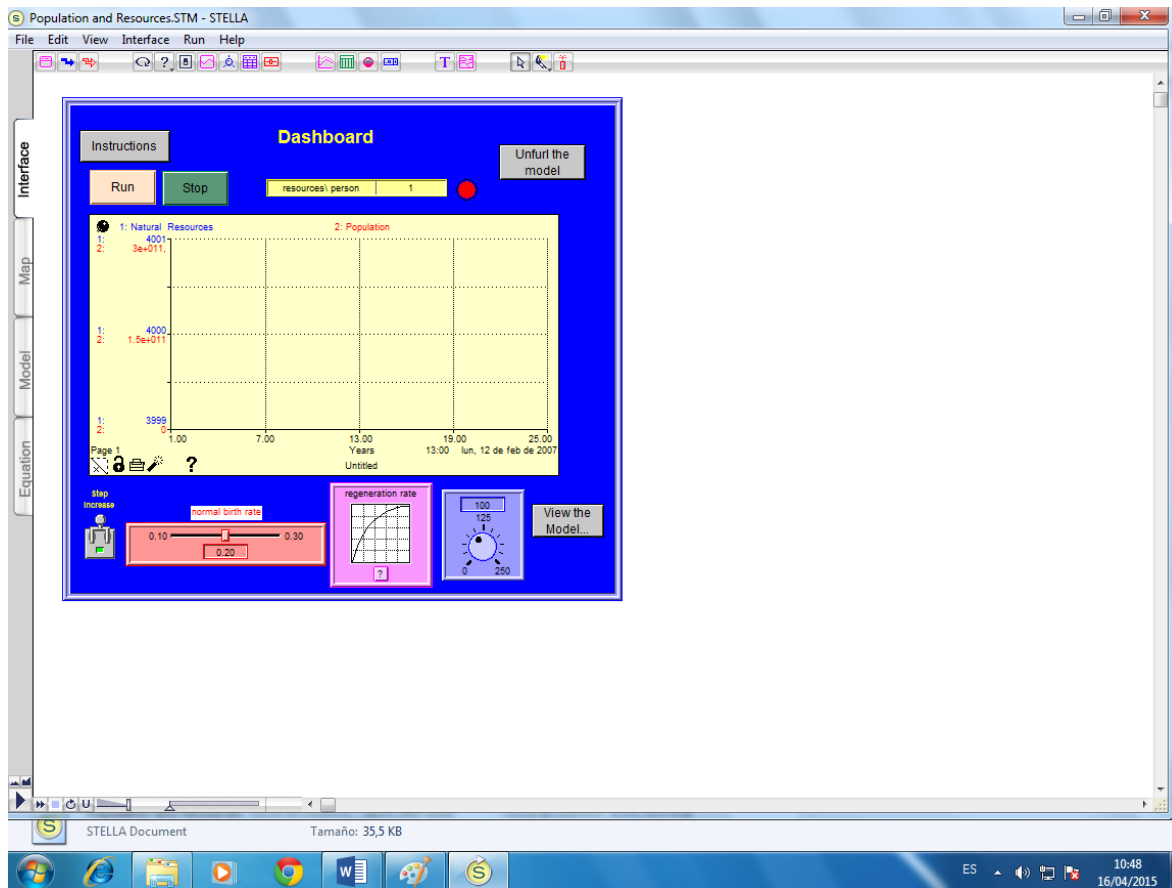


Figura 19. Vista Mapa de Interfaz en Stella.

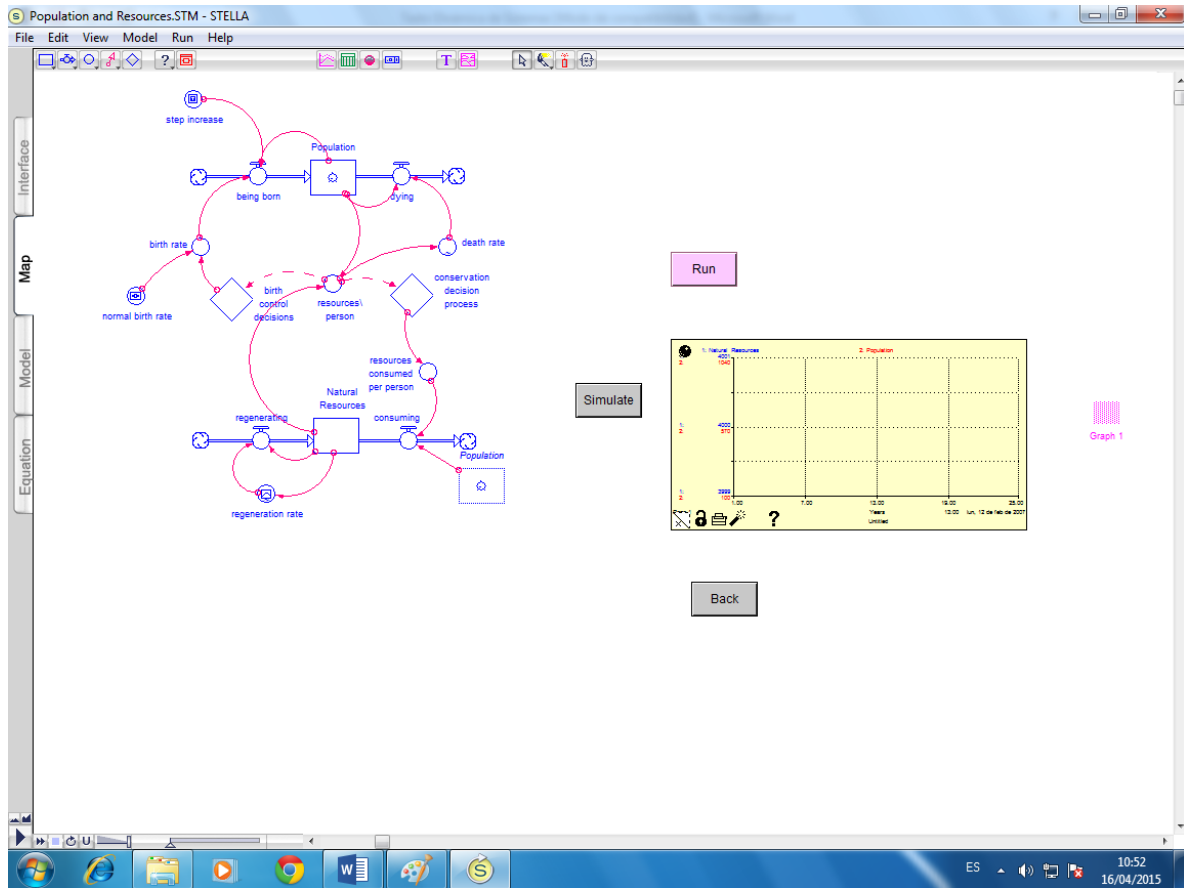


Figura 20. Vista Mapa de Modelo en Stella.

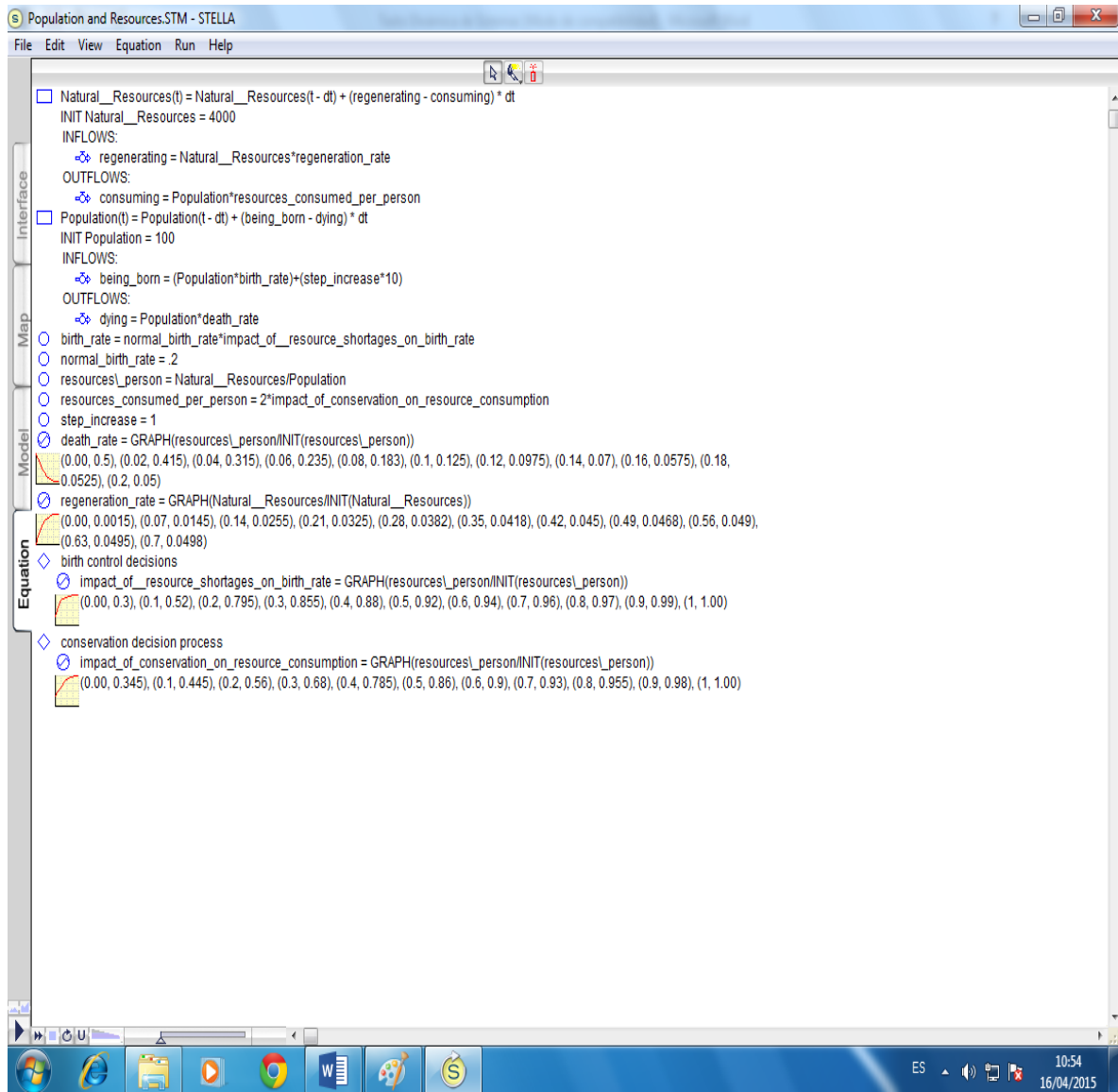


Figura 21. Vista Modelo Matemático en Stella.

ETAPA Nº 5: SISTEMA DE ECUACIONES

En esta etapa, **Sistema de Ecuaciones**, se procede a construir el modelo matemático describiendo cada una de las variables del **Modelo Forrester**, el cuál luego se simulará, para poder ver el comportamiento hermenéutico de las variables que conforman el modelo problemático en estudio. Se debe de proceder a especificar, las condiciones de simulación, así como ha seleccionar las variables cuyo comportamiento se visualizará tanto a nivel gráfico como a nivel numérico. Esto se detalla a continuación:

1º. Hacer click en el botón de opciones del menú principal: RUN.

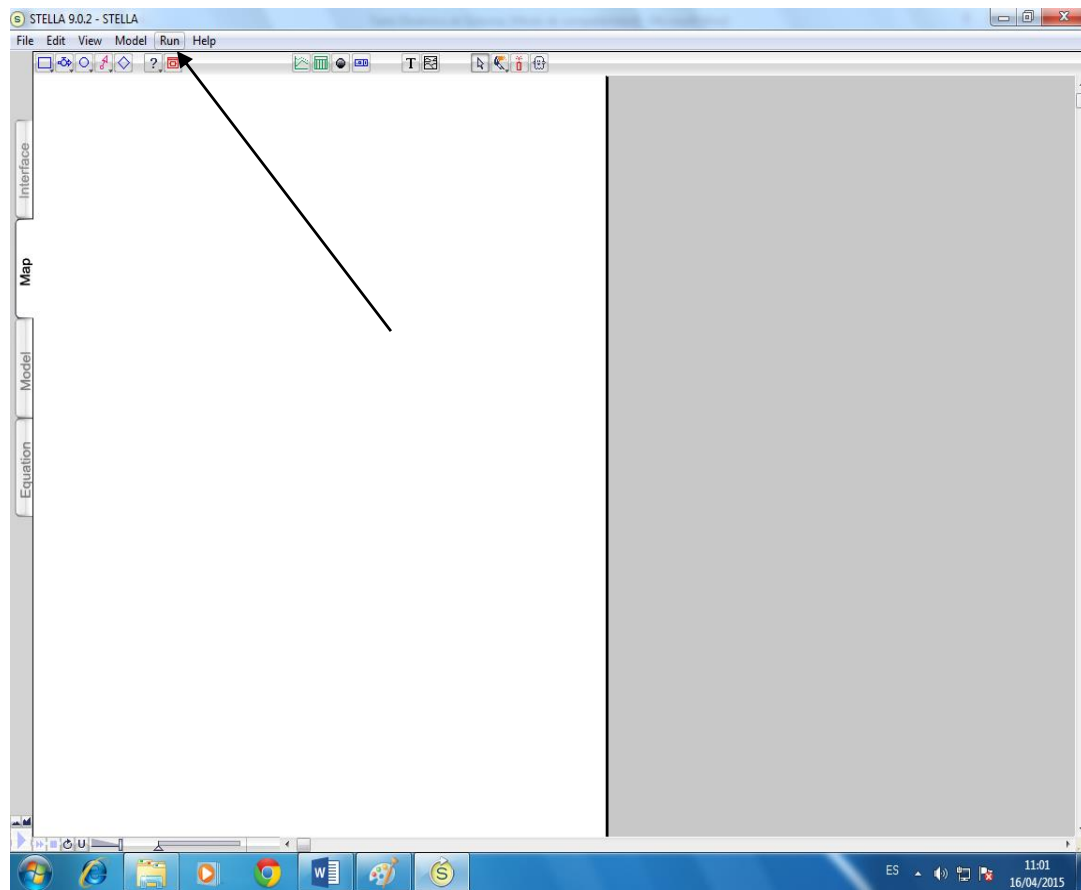


Figura 22. Vista para setear las condiciones para la simulación.

2º. Al aparecer el menú “Specs”, seleccionar “Run Specs”, con esto se podrá setear las condiciones de simulación, tales como:

2.1. From: Tiempo de Inicio de la simulación.

2.2. To: Tiempo de Fin de la simulación.

2.3. DT: Diferencial de tiempo: Para poder visualizar los resultados de la simulación en base a una unidad de tiempo constante.

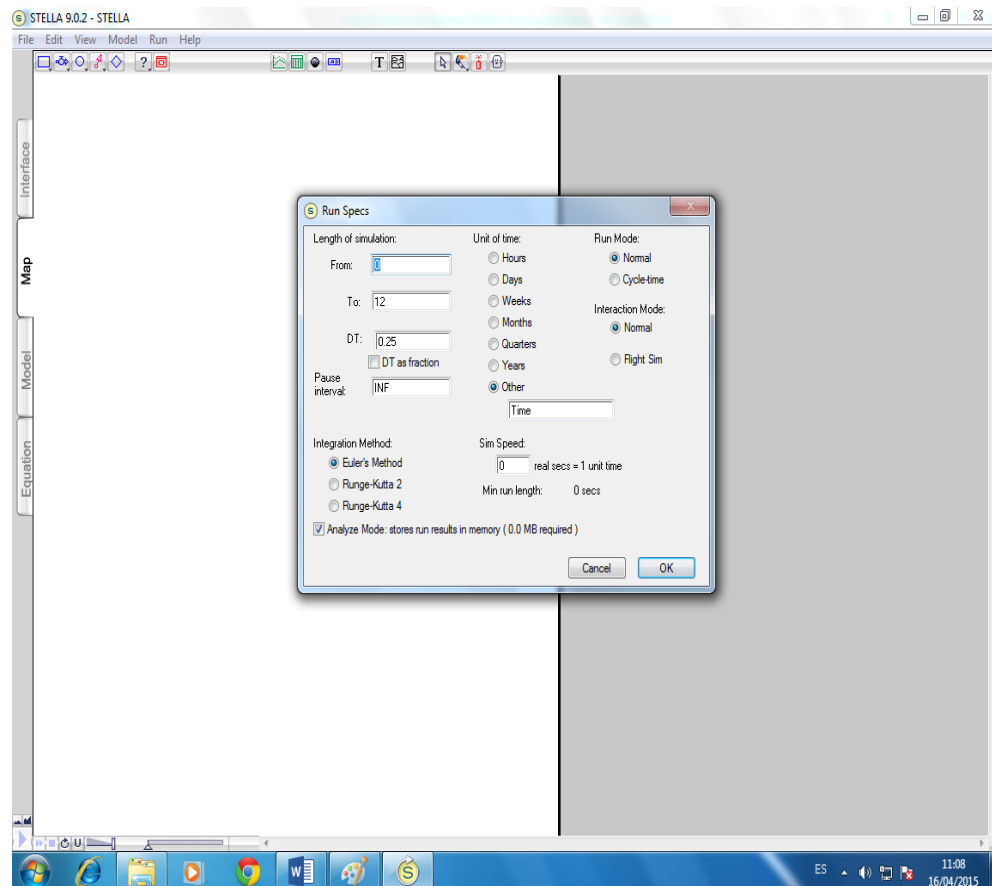


Figura 23. Vista para setear inicio y término de la simulación.

3º. Seleccionar la herramienta “Graph Pad”, para visualizar el comportamiento gráfico de las variables que se van a simular:

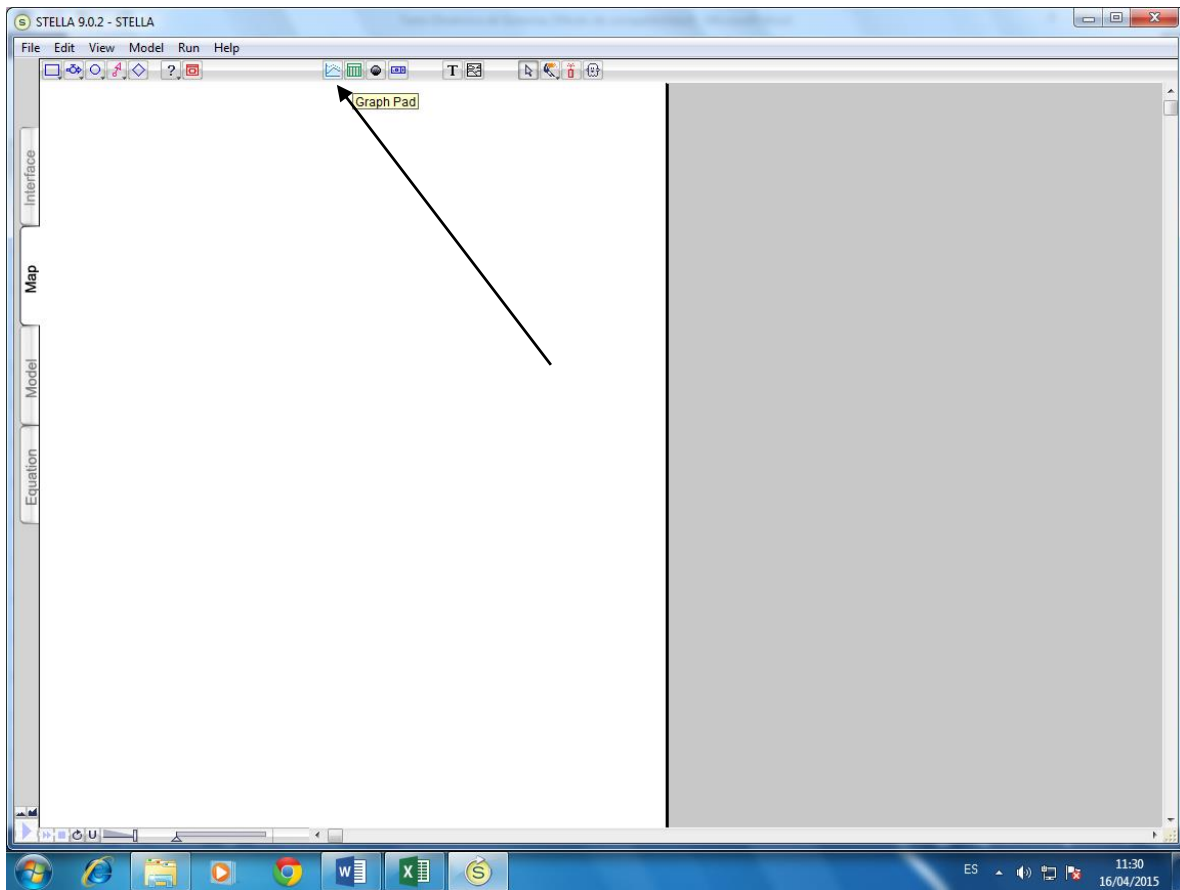


Figura 24. Vista para seleccionar simulación gráfica.

Al seleccionar la herramienta **“Graph Pad”**, aparece un plano cartesiano, en el cual al hacer doble click permitirá seleccionar las variables que vamos a simular, como se muestra a continuación:

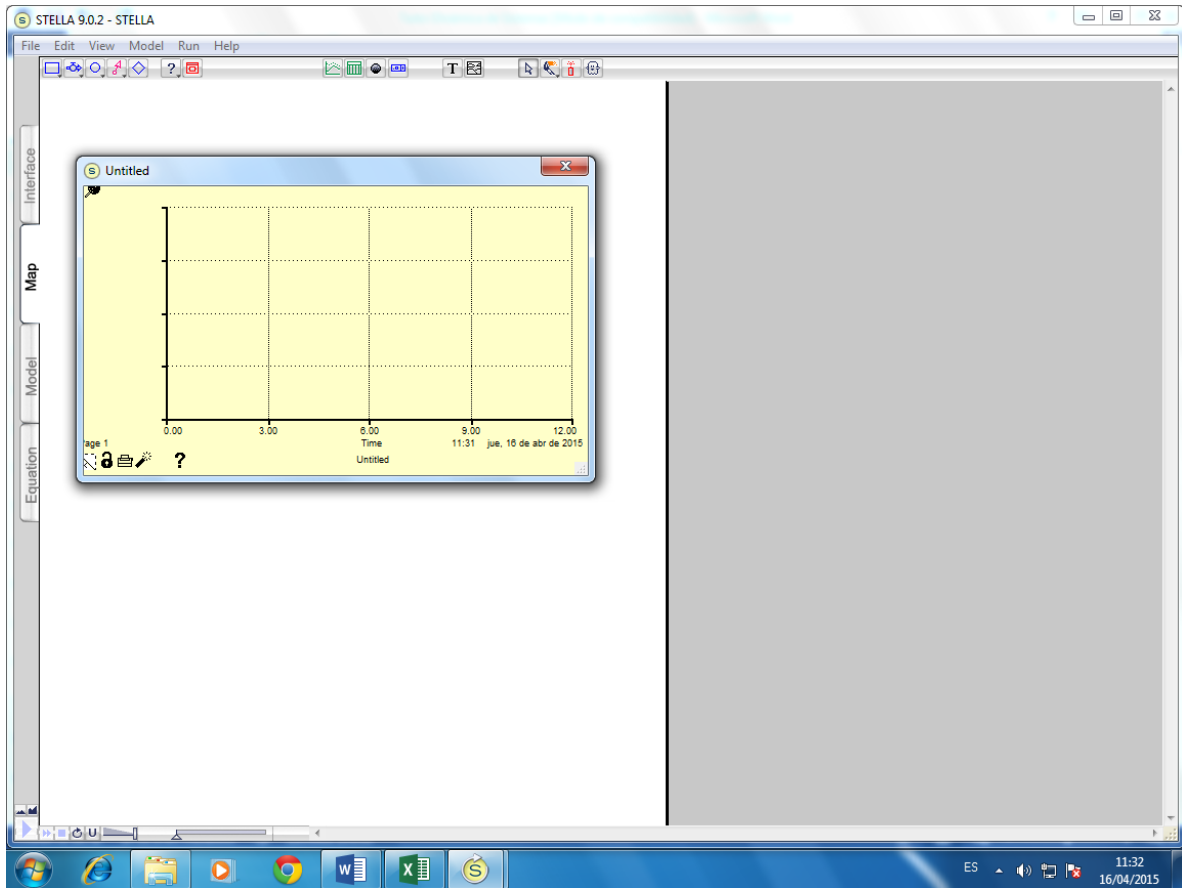


Figura 25. Vista para seleccionar área para la simulación gráfica.

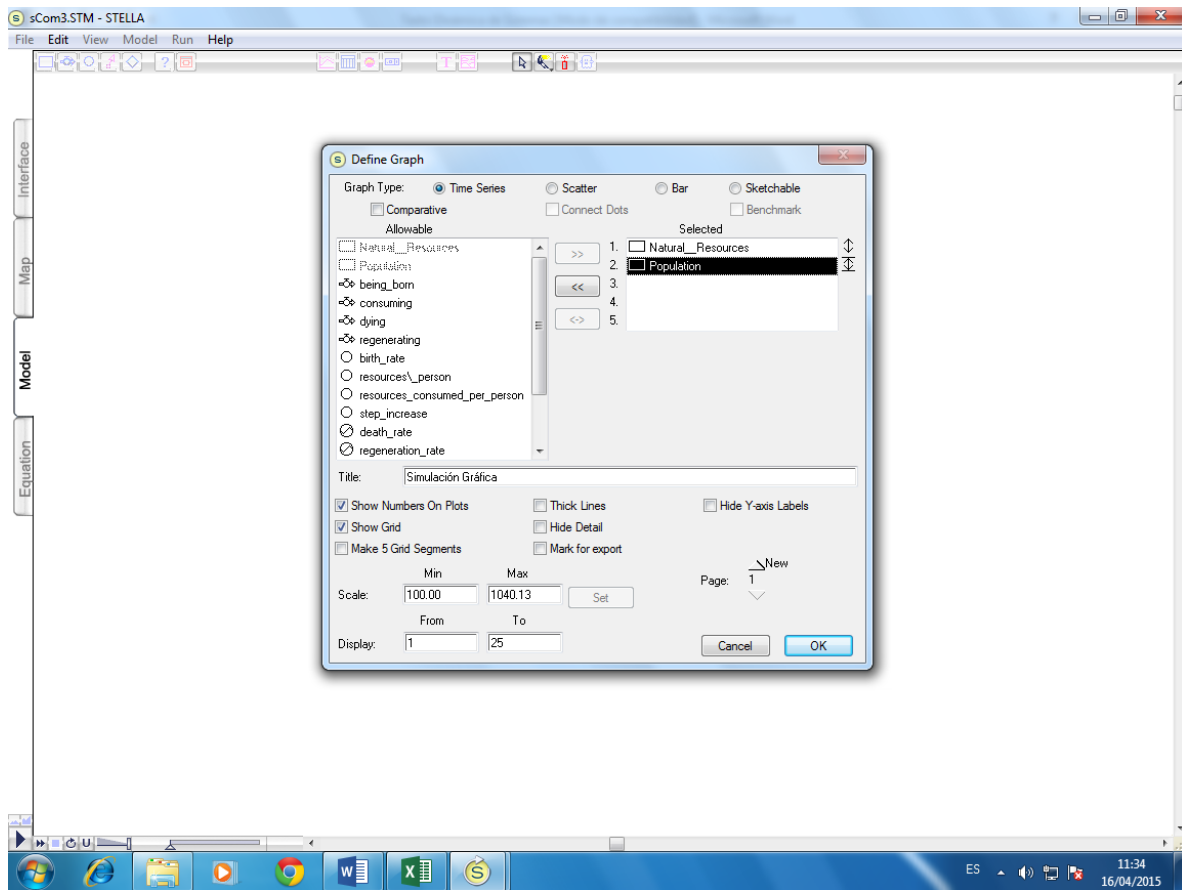


Figura 26. Vista para seleccionar variables a visualizar en la simulación gráfica.

Y luego al hacer click en el botón **“Ok”**, volvemos al plano cartesiano anteriormente displayado, y ahora al hacer click en el botón **“Play”** del menú **“Specs”**, se debe visualizar el comportamiento gráfico de las variables seleccionadas, tal como se muestra a continuación:

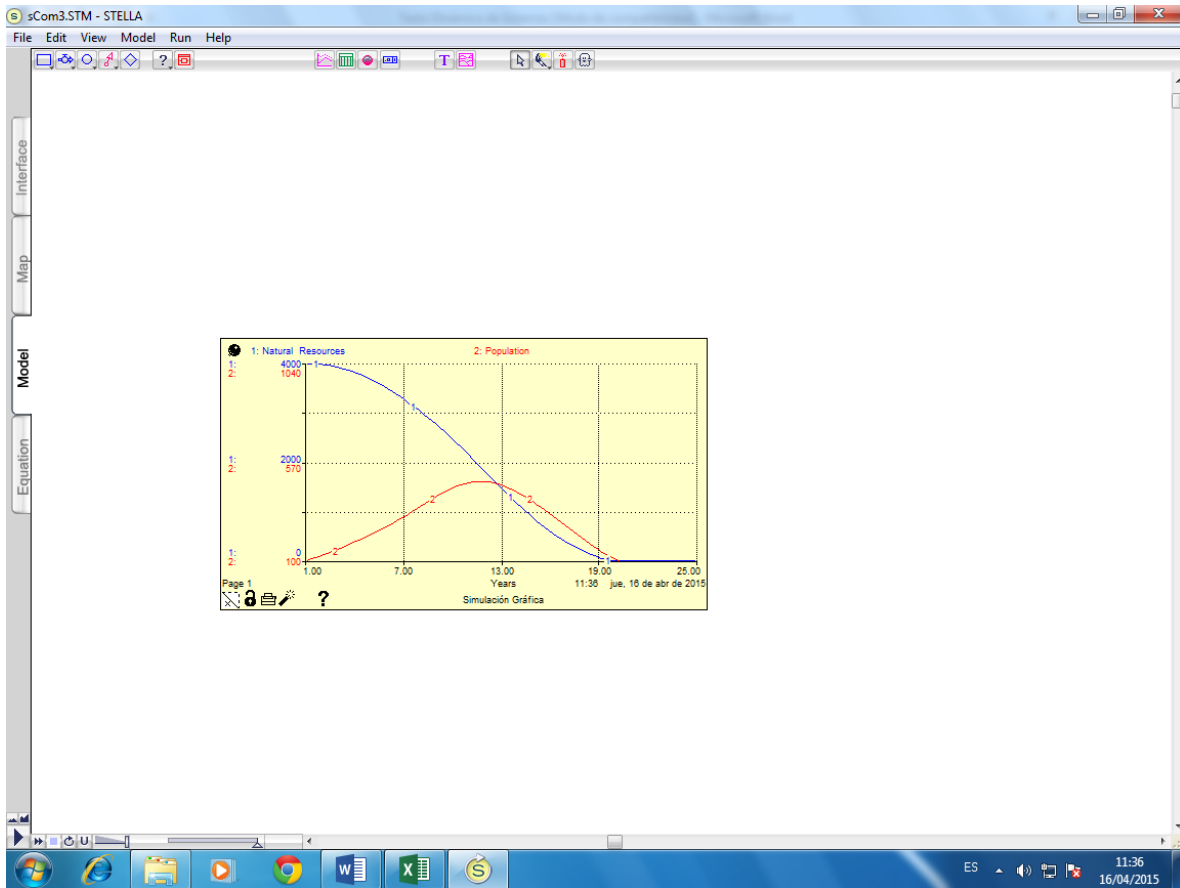


Figura 27. Vista que muestra resultado de la simulación gráfica.

El mismo procedimiento se debe de seguir, para visualizar los valores numéricos de las variables que se han simulado. Esto se logra seleccionando la herramienta **“Table Pad”**, que se encuentra al lado derecho de la herramienta **“Graph Pad”**, siendo el resultado el siguiente:

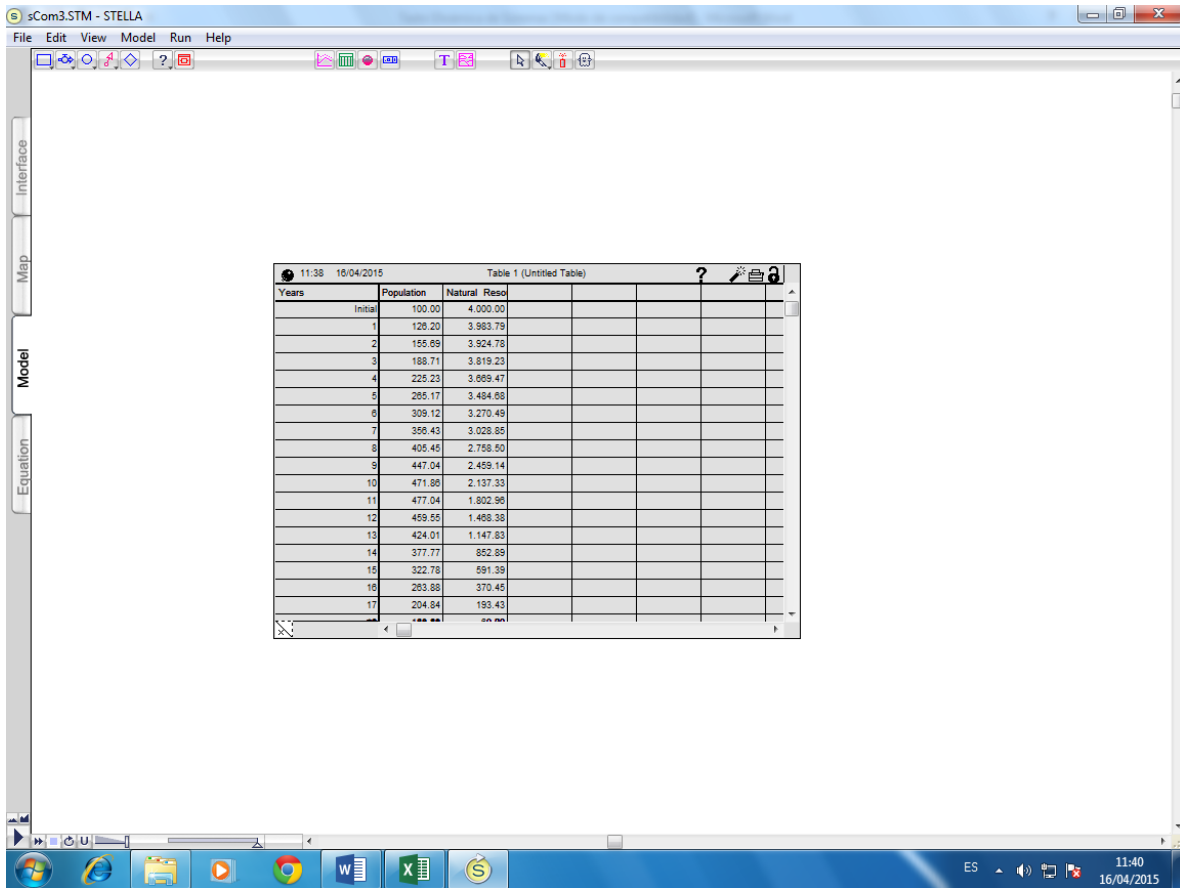


Figura 28. Vista que muestra resultado de la simulación numérica.

Para la simulación, no se debe olvidar que debemos de elaborar un modelo matemático, considerando que una variable, a excepción de los niveles, pueden tener como ecuación:

- Un valor numérico fijo.
- Una operación matemática.
- Una función especial. (La proporciona el Software de simulación).

En lo que se refiere a los niveles estos ya tienen una ecuación definida por el software de simulación, y solo se debe de ingresar el valor con el cuál iniciarán el proceso de simulación.

La razón por la cuál los software de simulación ofrecen funciones especiales, es que en la problemática siempre se van a presentar situaciones especiales que no pueden expresarse con una simple operación matemática o combinada.

Por ejemplo: ¿Como representaria Ud., el dinero que representa en pérdida la acción de un fenómeno natural, como el fenómeno del niño, y es mas, este fenómeno se presenta cada cierto intervalo de tiempo?

En lo que se refiere a las funciones especiales, como se mencionó anteriormente, que ofrecen los diferentes software de simulación, a continuación se explican algunas de ellas (las demás funciones se pueden obtener de la ayuda del software de simulación):

FUNCION CONDICIONAL (IF): Esta función representa situaciones en las cuáles se debe tomar una decisión. La representación de esta función es: IF <condición> THEN <acción a ejecutar> ELSE <acción a ejecutar>. A continuación se muestra un ejemplo:

Porcentaje para inversión en publicidad = If (utilidades>10000) then 0.25 else 0.35

FUNCION PULSE: Esta función representa situaciones en las que ocurre cíclicamente un acontecimiento. La representación de esta función es: PULSE(acontecimiento, período en el que por primera vez ocurre el acontecimiento, cada que cantidad de intervalos volverá a ocurrir el acontecimiento). A continuación se muestra un ejemplo:

Damnificados por fenómeno del niño = pulse(1500, 2000, 4)

FUNCION STEP: Esta función representa situaciones que ocurren a partir de un período determinado y se mantiene la misma ocurrencia en adelante. La representación de esta función es: STEP(acontecimiento, periodo en el que ocurre el acontecimiento). A continuación se muestra un ejemplo:

Incremento de precio = 150 + step(10, 2008)

FUNCION RAMP: Esta función representa situaciones que ocurren a partir de un período determinado y se repite la misma ocurrencia en adelante. Debe tenerse en cuenta que la ocurrencia viene a ser la pendiente de la recta que se origina. La representación de esta función es: RAMP(acontecimiento, periodo anterior a el que ocurre el acontecimiento). A continuación se muestra un ejemplo:

Incremento de precio = 150 + ramp(10, 2008)

FUNCION GRAPH: Esta función permite registrar valores históricos para posteriormente realizar pronósticos. Debe aclararse que esta función no se crea directamente si no a través de un proceso que se explica a continuación:

1º. Suponiendo que la variable que se va a definir con graph, es la inversión en equipos, tenemos el siguiente esquema:

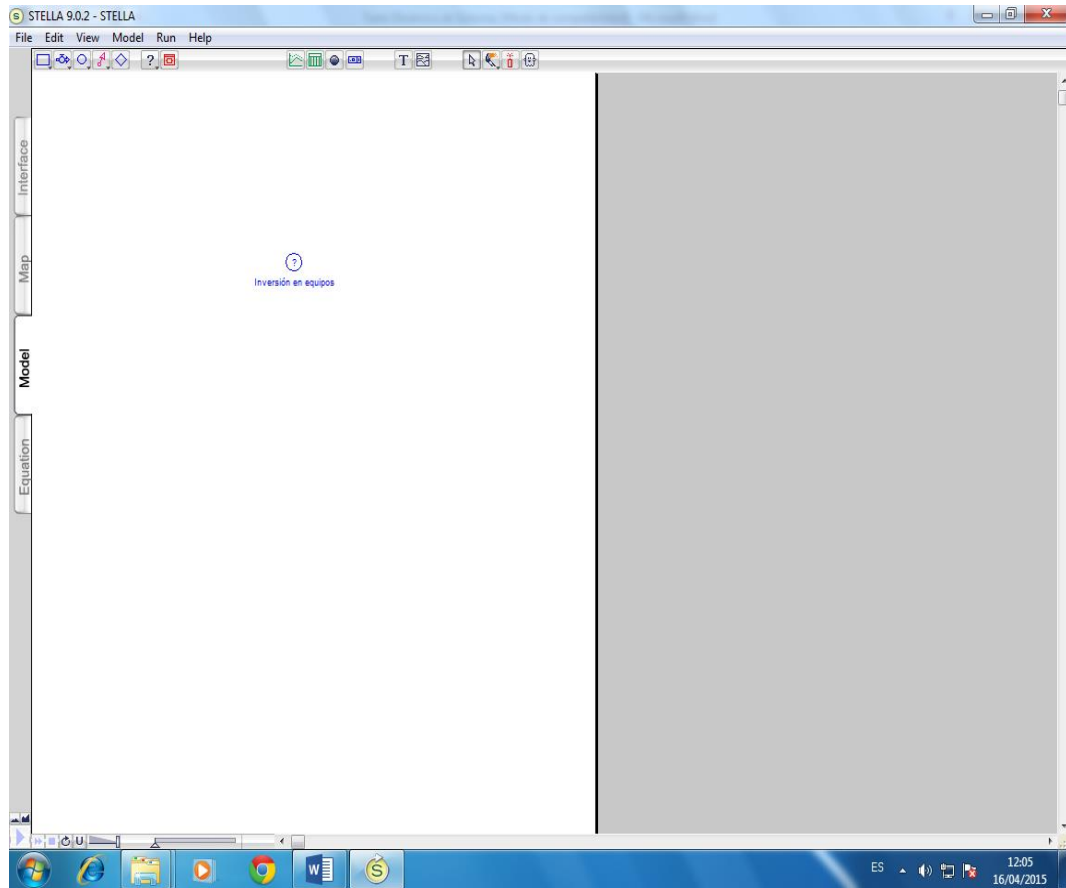


Figura 29. Vista que muestra el estadio previo a la aplicación de la función graph.

2º. Al aparecer el signo de interrogación que indica que se debe de ingresar la ecuación para esta variable, se hace doble click sobre la misma y en el formulario que se presenta, se ingresa TIME y luego doble click sobre el botón BECOME GRAPHICAL FUNCTION, así:

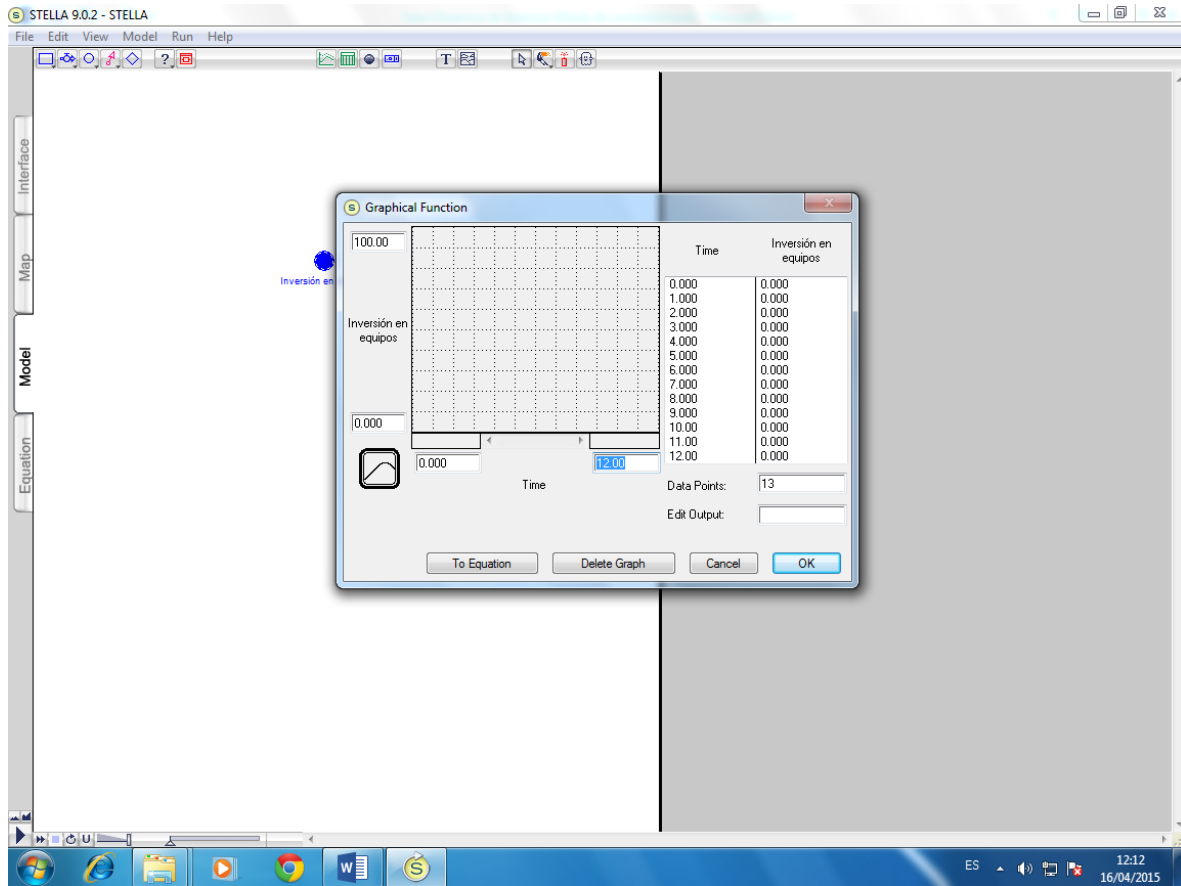


Figura 30. Vista que muestra el proceso de la aplicación de la función graph.

3°. Luego, al aparecer el siguiente formulario, se debe de ingresar para cada valor del tiempo (eje X o eje de las abcisas) un valor para las ordenadas o eje Y. Así:

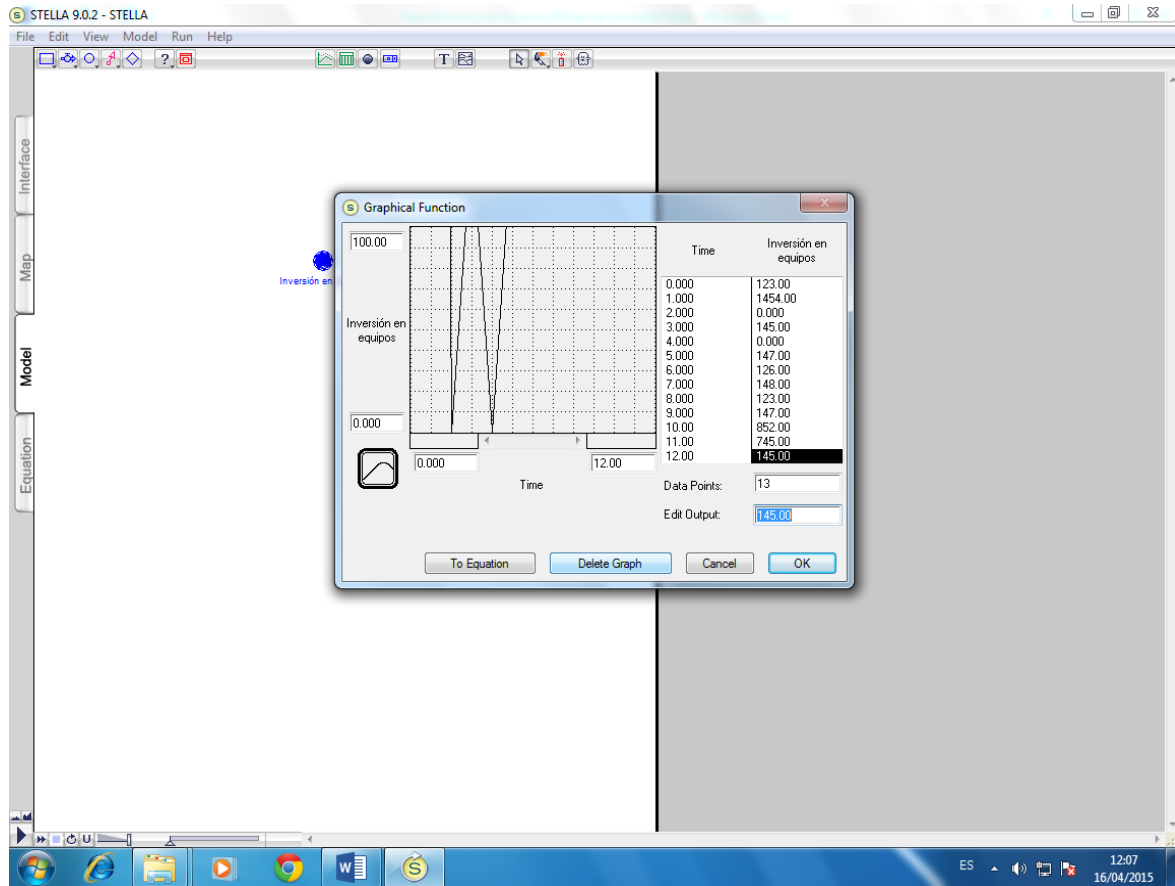


Figura 31. Vista que el proceso de ingreso de datos para la función graph.

4°. Finalmente después de ingresar todos los valores requeridos, se hace click sobre el botón OK, con lo que la variable tomará la siguiente apariencia:


 INVERSION EN
 EQUIPOS

Figura 32. Vista que muestra apariencia de variable en la cual se ha aplicado la función graph.

ETAPA Nº 6: CALIBRADO DEL MODELO

Los datos que se obtienen de la simulación del comportamiento de las **VARIABLES DE ESTADO**, desde el pasado hasta el presente, se deben de comparar con los datos históricos que poseen en el Sistema de Referencia. Si los datos de dicha simulación coinciden (con no mas de 5% de error) con los datos históricos, entonces se da por válido el modelo y se continúa con la siguiente etapa de la metodología; en caso contrario se deben de revisar las etapas previas. Por ejemplo:

Resultados Simulación

TIME	UTILIDAD
0	1000
1	1200
2	1300
3	1500

Datos Históricos

TIME	UTILIDAD
0	1000
1	1220
2	1300
3	1490

Figura 33. Comparación entre resultados de la simulación y datos históricos.

De la figura 31, se puede deducir que la simulación realizada es coherente, ya que los valores históricos del sistema coinciden en gran porcentaje con los datos de la simulación.

ETAPA Nº 7: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En esta etapa, se detectan los puntos críticos, palanca o de quiebre para poder plantear los cambios viables.

Un punto crítico es aquella tasa o parámetro, que al sufrir un pequeñísimo cambio en su valor numérico, genera como resultado la modificación en gran escala de alguna o todas las variables nivel. Se considera que el rango permitido para variar los valores de las tasas o parámetros es de $\pm 50\%$ su valor original.

A continuación se muestra el proceso para realizar el Análisis de Sensibilidad en Stella 9.0.2. Consideremos el siguiente modelo Forrester:

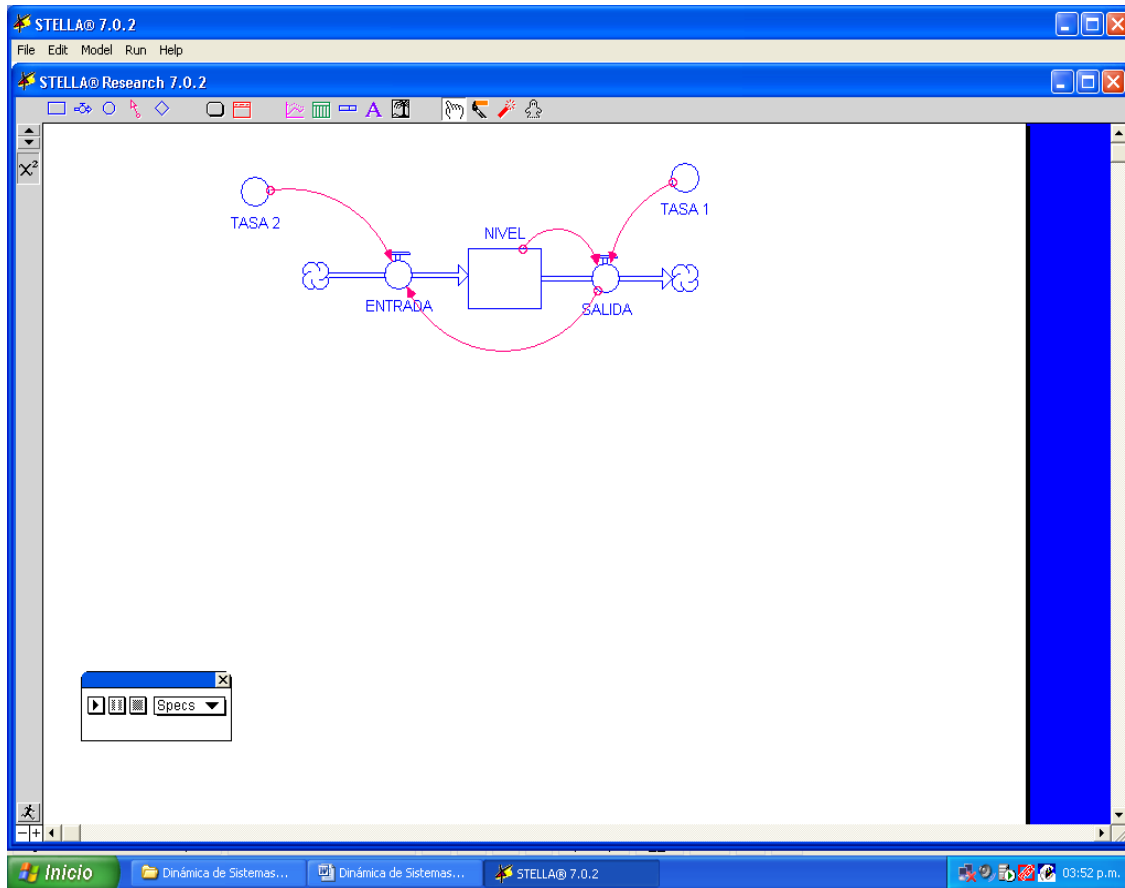


Figura 34. Ejemplo de Modelo Forrester para el Análisis de Sensibilidad.

Después de generar el modelo matemático del Diagrama Forrester de la figura 32, hacemos click en la opción “Specs” y elegimos “Sensi Specs”, con lo que aparecerá la siguiente interfaz:

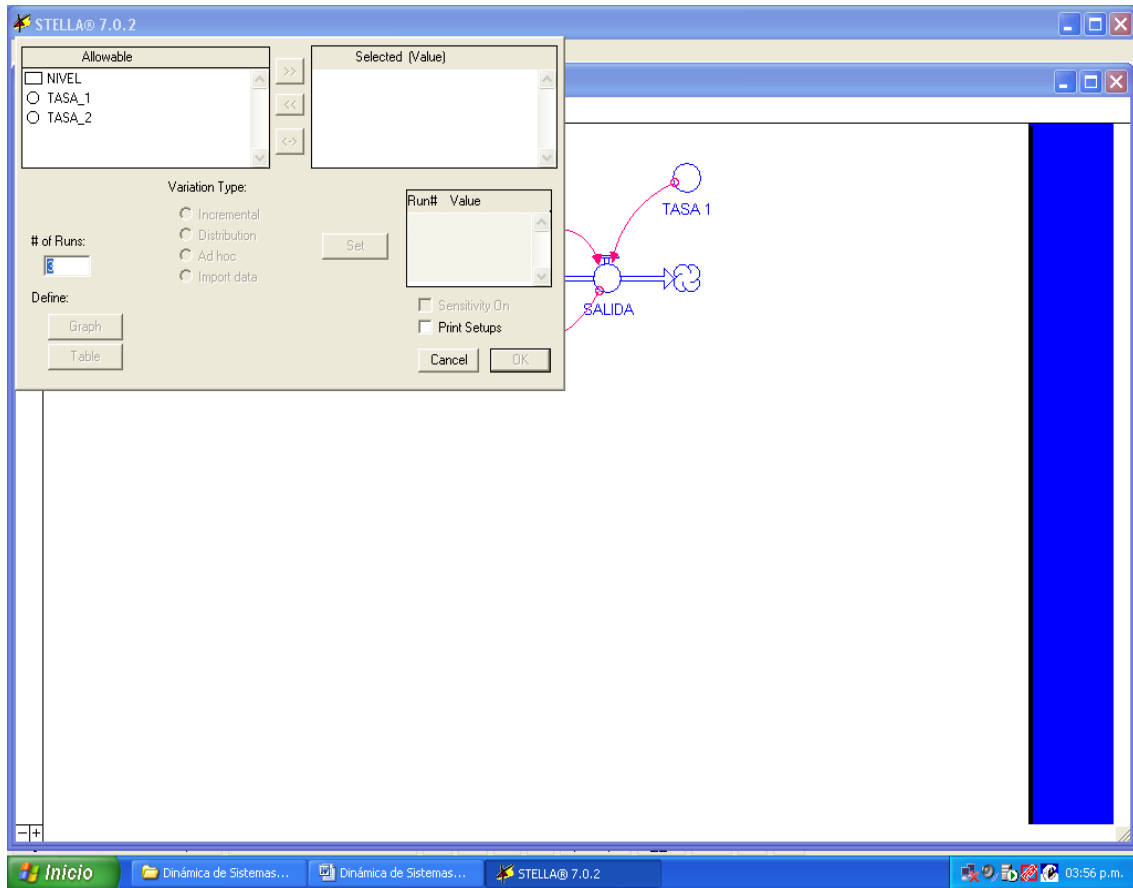


Figura 35. Variables candidatas a seleccionar para el análisis de sensibilidad.

Luego, debemos seleccionar la variable tasa o parametro de la lista “**ALLOWABLE**” y agregarlas a la lista “**SELECTED (VALUE)**”, por ejemplo asi: (considerando seleccionar **TASA1**)

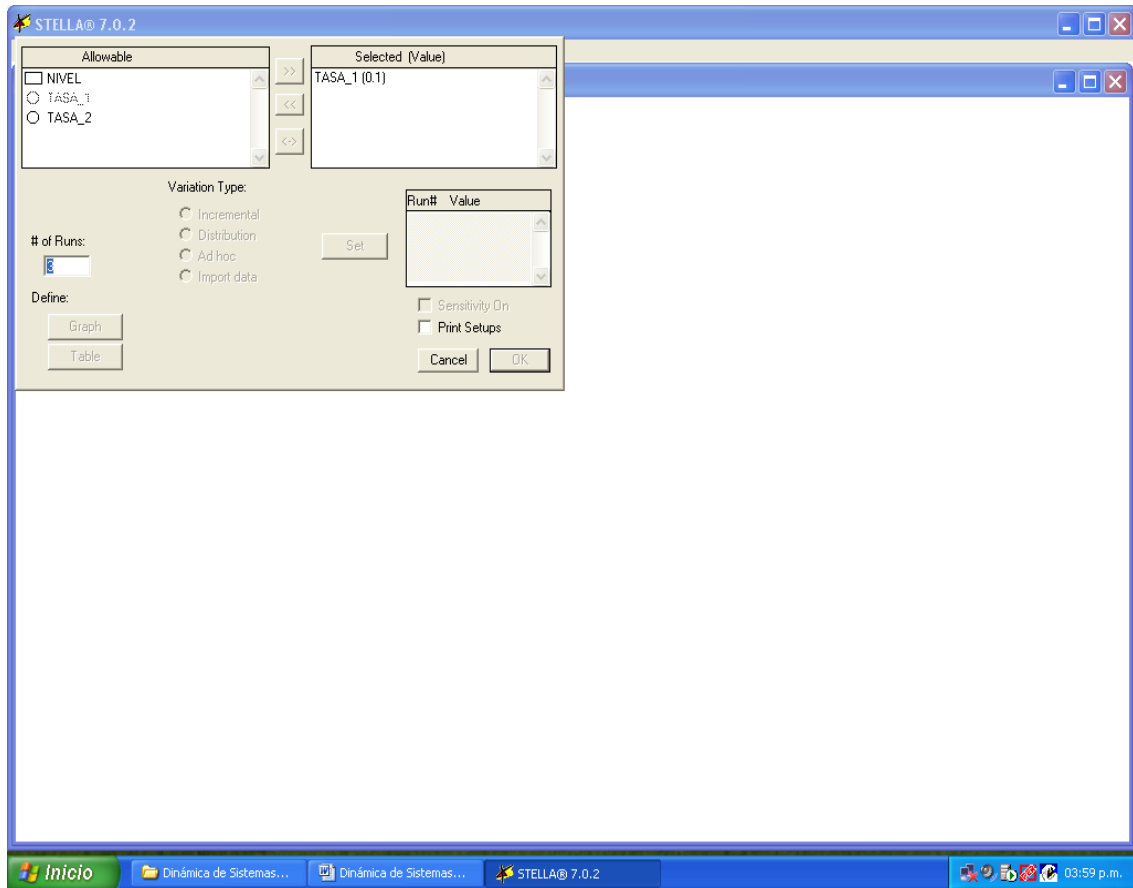


Figura 36. Variable seleccionada para el análisis de sensibilidad.

Luego, se selecciona nuevamente **TASA1** que está insertada en la lista “**SELECTED (VALUE)**” con lo que las cajas de texto correspondiente a “**START**” y “**END**” se activan para que se ingrese el mínimo y máximo valor permitido para **TASA1**, es decir como el valor original de **TASA1** es 0.1, entonces en la caja “**START**” se debe ingresar 0.05 y en la caja “**END**” se debe ingresar 0.15 (Recodar que se varía como máximo + - 50 % el valor original de la tasa o parámetro), lo que dará como resultado lo siguiente:

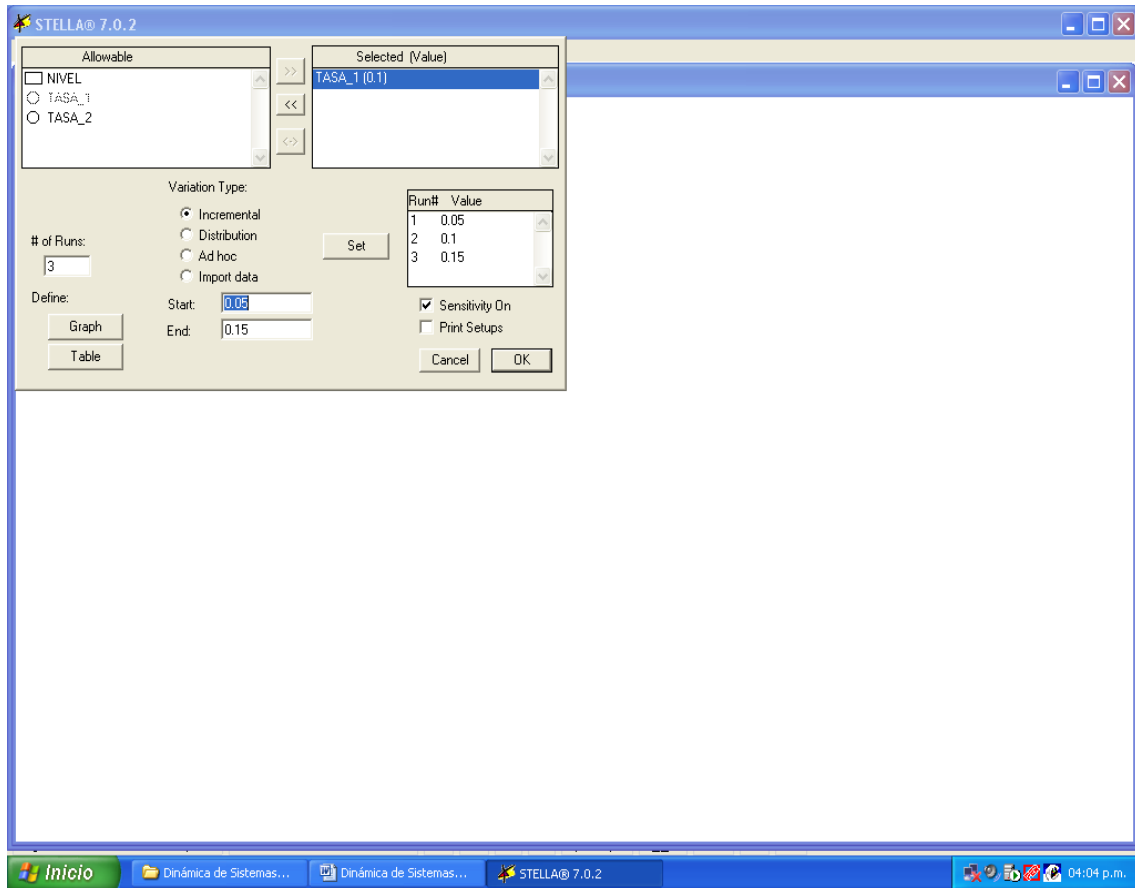


Figura 37. Valores máximo, actual y mínimo para la variable seleccionada para el análisis de sensibilidad.

En la lista “**RUN# VALUE**”, los valores que se generan son: 0.05, 0.1, 0.15 con los cuáles se realizará el Análisis de Sensibilidad.

Luego hacemos click en el botón “**Graph**” o “**Table**” para luego elegir la variable nivel que deseamos analizar si se ve afectada por el cambio realizado en el valor de la tasa o parámetro, como se muestra a continuación:

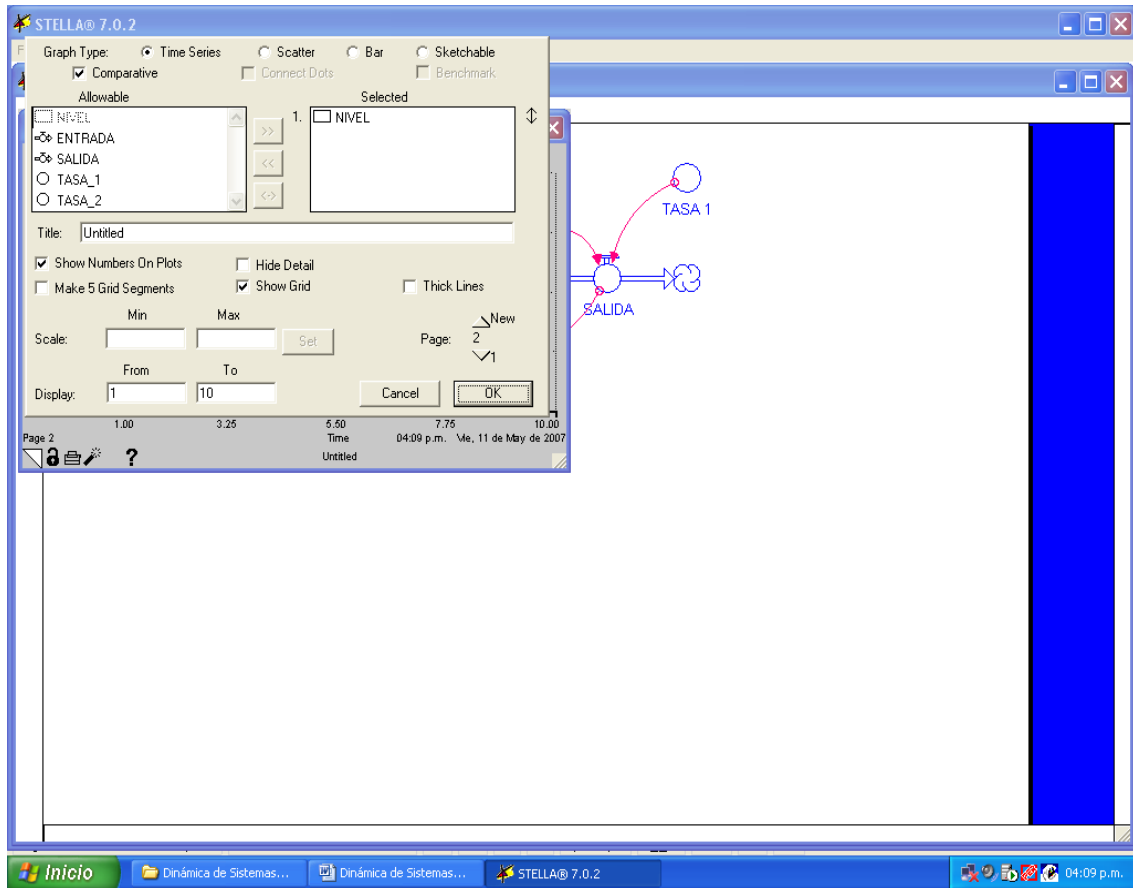


Figura 38. Interfaz para seleccionar la variable nivel para el análisis de sensibilidad.

Luego de seleccionar el nivel a analizar hacemos click en el botón **“OK”** y hacer click en el botón **“Play”** de **“Specs”** se genera la siguiente gráfica:

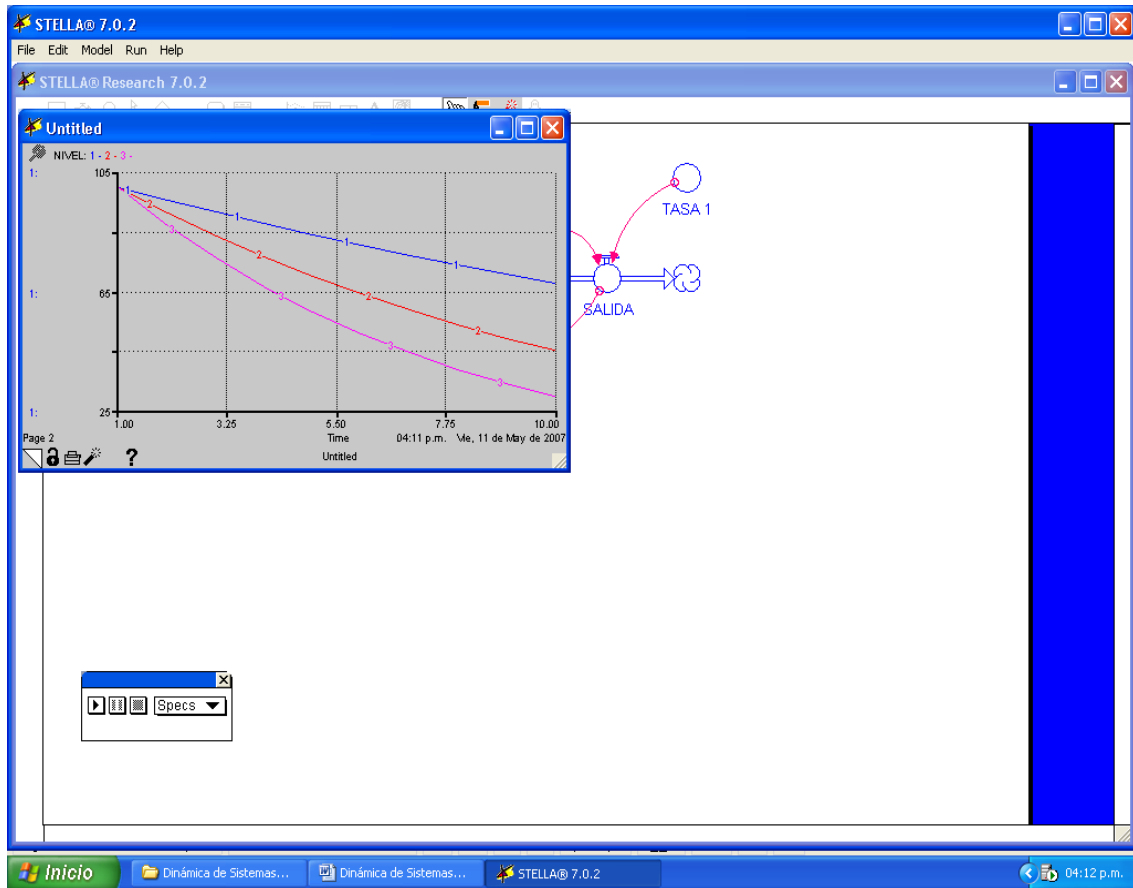


Figura 39. Resultado de la simulación gráfica en el análisis de sensibilidad.

De la figura anterior podemos deducir que la variable nivel “NIVEL”, si es sensible a la tasa “TASA1” y así ésta última será considerada para el planteamiento de una estrategia.

El proceso de determinar la estrategia en función a la tasa seleccionada, implica que los resultados se muestran y evalúan con la persona que tiene la última palabra en la aprobación del estudio, es decir el dueño del sistema quien determinará cuál es el cambio definitivo que debe sufrir la tasa seleccionada. Esto, se definirá en la siguiente etapa **EVALUACIÓN DEL MODELO**, donde las variables que han sido seleccionadas para en ellas concretizar los cambios determinados se convertirán en los parámetros de análisis del **DASHBOARD** que se presentará a quien toma la decisión en la problemática es estudio.

ETAPA Nº 8: EVALUACIÓN DEL MODELO

En primer lugar, en esta etapa, se hace la simulación respectiva del modelo a futuro para visionar el escenario posible sin hacer ningún cambio. Esto implica en primer lugar, ampliar el horizonte de tiempo para la simulación, es decir, por ejemplo, hasta el 2020, claro que esto depende de lo que decida el tomador de las decisiones.

La razón de hacer la simulación comentada en el párrafo anterior es, para poder luego en la etapa 9, **UTILIDAD DEL MODELO**, comparar el beneficio que implica, frente a no hacer nada en la problemática, el implementar los cambios respectivos. Así entonces, en esta etapa, se construye un **DASHBOARD** o llamado también **PANEL DE CONTROL** en donde y mediante el cuál el tomador de la decisión, haciendo uso de la variable palanca o variables palanca determinados en la etapa 7, “juega” con el cambio de valor de dicha variable o variables palanca, con lo que visionará los posibles escenarios que a futuro pueden darse, y así elegir el que mejor convenga para la problemática en estudio, determinando así también el valor definitivo que le asignará a a variable palanca. Debe recordarse que el análisis en el **DASHBOARD** se hace sobre la o las variable del tipo **NIVEL**.

Un ejemplo de **DASHBOARD**, que se construye, en este caso con Stella 9.0.2 es el que se muestra a continuación:

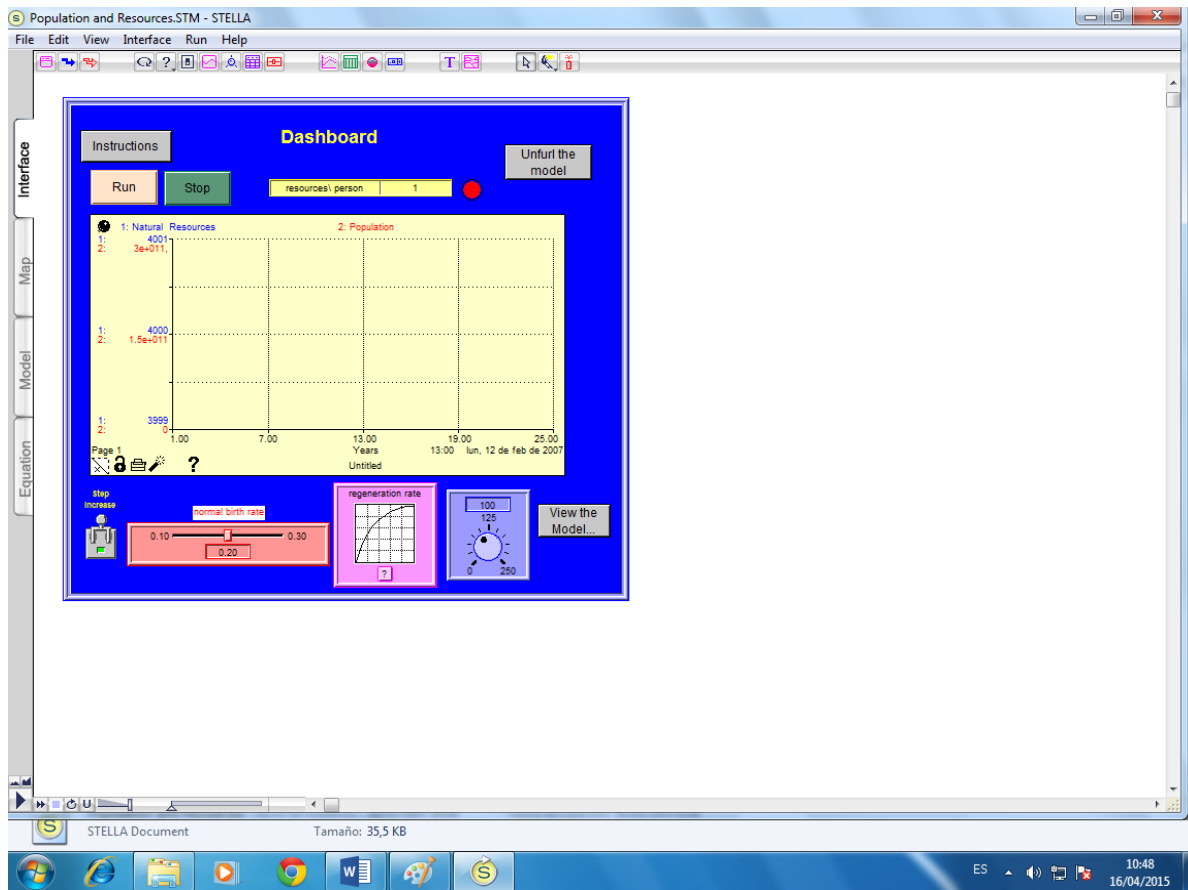


Figura 40. DASHBOARD construido en Stella 9.0.2

Para el proceso de construcción del **DASHBOARD**, se debe mencionar que como los objetos que se visualizarán en el mismo, depende de lo que quiera visualizar el tomador de decisiones, se indica a continuación algunas de las herramientas a utilizar, indicando que éstas se encuentran en la pestaña **INTERFACE** de **Stella**.

El proceso de construcción de un ejemplo de **DASHBOARD**, se deja para el desarrollo en la sesión respectiva con el docente.

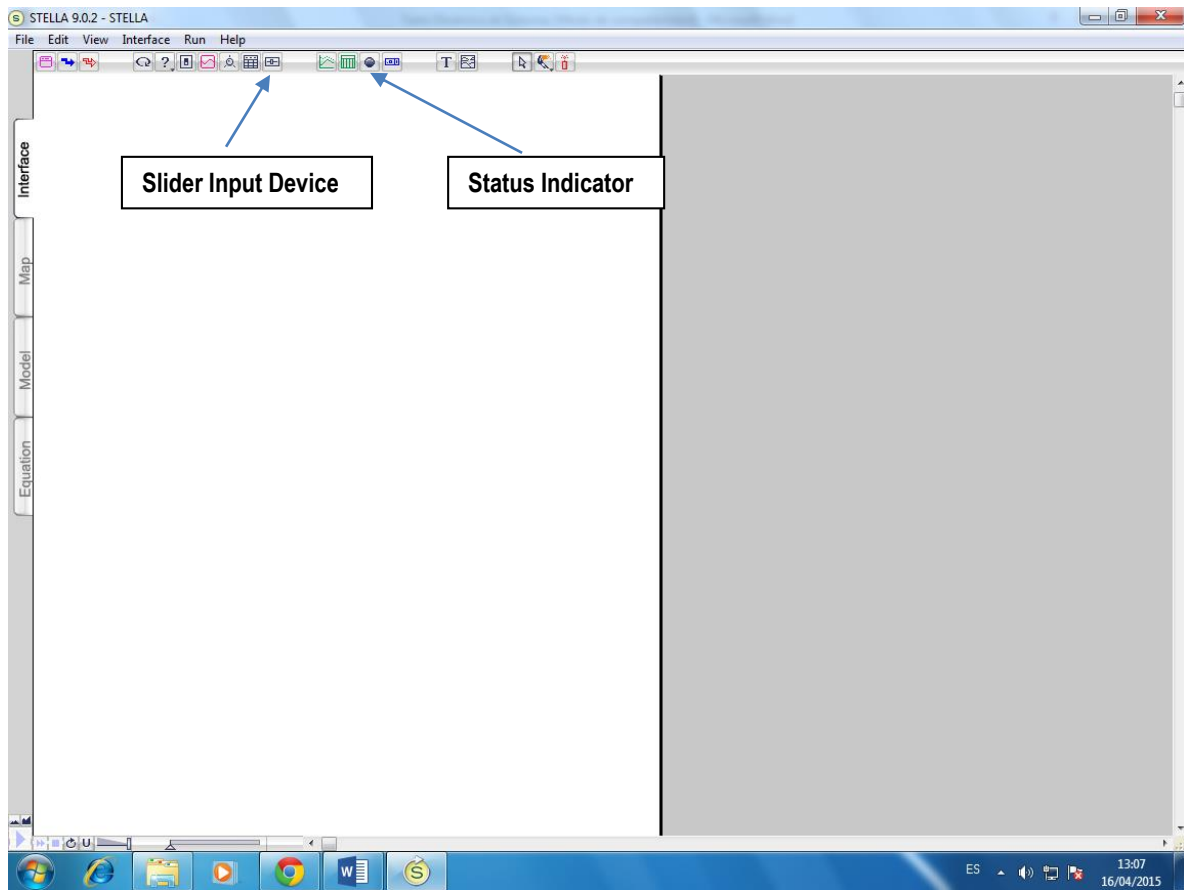


Figura 41. Algunos objetos de la pestaña INTERFACE de Stella para la construcción del DASHBOARD.

ETAPA Nº 9: UTILIDAD DEL MODELO

En esta etapa, se hace un cálculo aproximado del beneficio obtenido producto de la implementación de los cambios en la problemática en cada una de las variable de estado, es decir, las variables **NIVEL**.

Este beneficio se expresa normalmente en porcentaje y se hace uso de alguna herramienta de software como por ejemplo: **EXCEL**.

Se compara los beneficios obtenidos de implementar los cambios frente a no hacer ningún cambio en la problemática, esto a futuro. A continuación se muestra un ejemplo:

AÑO	VALOR DE VARIABLE NIVEL UTILIDAD SIN IMPLEMENTACIÓN DE CAMBIOS	VALOR DE VARIABLE NIVEL UTILIDAD CON IMPLEMENTACIÓN DE CAMBIOS	% BENEFICIO
2015	1500	1800	10%
2016	2014	4500	25%
2017	1542	2541	30%
2018	1540	1840	24%
2019	1458	1540	24%
2020	1475	1800	30%
MARGEN DE BENEFICIO PROMEDIO			26%

Figura 42. Ejemplo de cálculo de la utilidad de implementar los cambios en la problemática estudiada.

<http://www.iseesystems.com/>. Isee Systems