

---

# CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DINÁMICOS CON VENSIM PLE

---

## 6.1 Objetivo

El propósito de esta práctica es dar unas breves ideas que nos ayuden a familiarizarnos con la construcción y simulación de modelos de sistemas dinámicos usando el programa Vensim PLE®.

## 6.2 Introducción

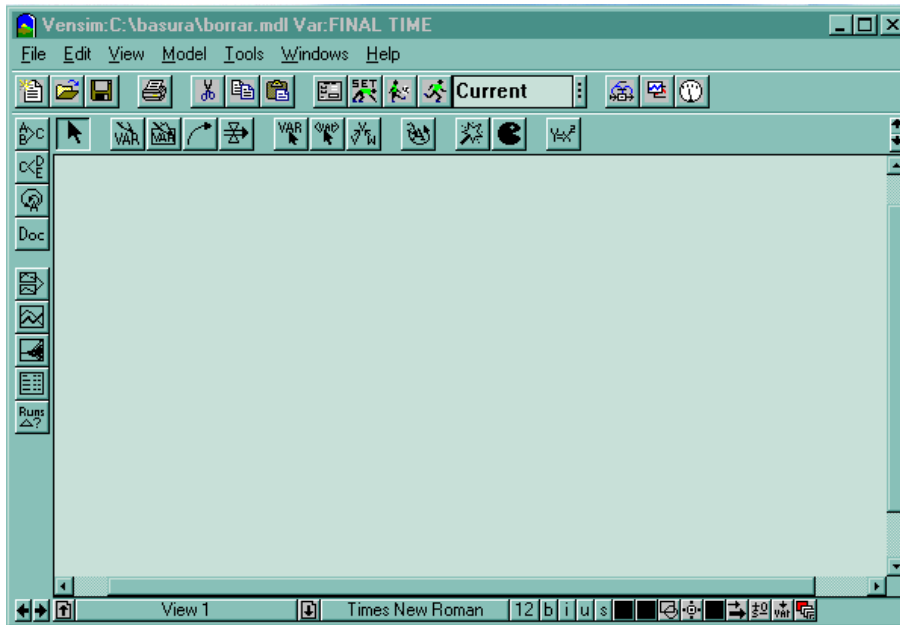
Una manera interesante de poder resolver un problema científico, es como sabemos, hacer uso de un modelo matemático. La modelización es un tema que en los últimos años ha adquirido una gran importancia, por la naturaleza y la complejidad de los problemas a los que se aplica. Las razones que justifican esta gran expansión, hay que buscarlas en el importante desarrollo que ha tenido el uso del ordenador, la aparición de nuevas teorías matemáticas y el análisis de sistemas. Uno de los programas más fáciles de utilizar para construir y posteriormente simular un sistema dinámico es Vensim PLE®. Además presenta la ventaja añadida de utilizar el sistema operativo Windows®.

Comenzaremos la práctica construyendo un modelo económico muy simple que nos analice la evolución del déficit, y posteriormente construiremos y simularemos los modelos más sencillos que estudian el crecimiento de poblaciones.

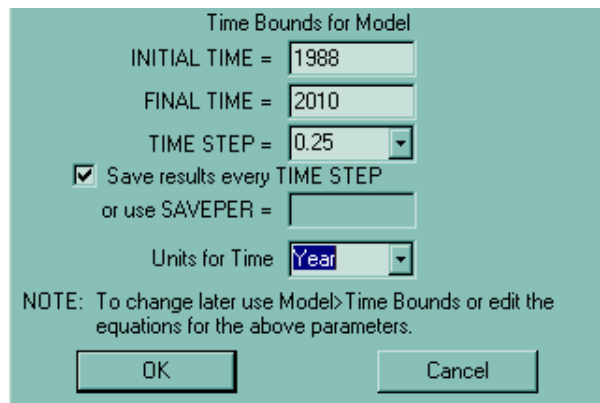
## 6.3 Construcción de modelos dinámicos

### 6.3.1 Introducción

Para comenzar necesitamos cargar el programa. Al abrir por primera vez Vensim PLE<sup>®</sup> nos aparecerá la siguiente pantalla.



Para empezar a trabajar en un nuevo modelo seleccionamos **New Model** en el menú **file**, y el programa nos mostrará el siguiente cuadro de diálogo.



En primer lugar debemos elegir el horizonte temporal del modelo (cuando debe comenzar y acabar la simulación), el paso temporal apropiado (como deseamos exactamente que simule nuestro modelo), y la unidad de tiempo. En nuestro ejemplo, el

déficit se iniciará en 1988 y deseamos acabar la simulación en el año 2010. Como paso temporal seleccionamos 0.25 años. Finalmente, cambiamos la unidad del tiempo de mes a año. Para finalizar hacemos clic en OK con el ratón.

Para darle un nombre al modelo, elegimos **Save as** del menú **file** e introducimos el nombre deseado. El programa asignará automáticamente la extensión **.mdl** al nombre del archivo, y ya estaremos en condiciones para construir nuestro modelo.

### 6.3.2 Niveles (stock), Flujos (flow) y estructuras de retroalimentación (feedback)

El área grande vacía en la mitad de la pantalla es el área de trabajo. Los diferentes botones en el borde superior del área de trabajo representan las distintas “herramientas” disponibles para trabajar con el modelo. La barra superior contiene a la barra del título, la barra de herramientas principal y las herramientas del escritorio. La barra de herramientas principal consiste en dos conjuntos: operación con archivos, que controla las funciones standard con archivos (**abrir, cerrar, grabar, imprimir, cortar, copiar y pegar**)

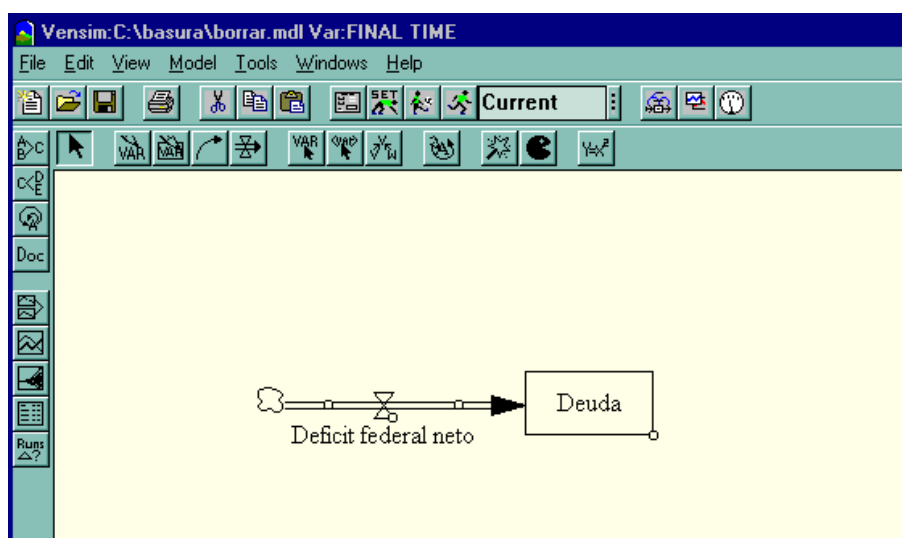


Figura 6.1

Además están las herramientas de simulación y gráficos que nos permiten realizar distintas simulaciones y diferentes representaciones gráficas. Las herramientas de escritorio nos permiten construir los distintos componentes de un modelo. Las herramientas de la barra de estado nos permiten cambiar la forma del diagrama. Las herramientas de análisis a la izquierda de la ventana se utilizan para analizar el modelo y entender su comportamiento.

Comenzamos dibujando un nivel que representará a la Deuda federal pendiente de pago de nuestro modelo. Hacemos clic en el botón correspondiente de la barra de herramientas del escritorio (tercero por la izquierda) y a continuación volvemos a pulsar el botón correspondiente. Tecleamos la palabra **Deuda** y pulsamos la tecla **Enter**.

Ya hemos creado la primera variable en nuestro modelo, el nivel de dinero que constituye la Deuda federal. Ahora añadimos un flujo de entrada a la **Deuda**. Pulsamos en el quinto de los iconos de la barra de herramientas y nos situamos a la izquierda de la variable **Deuda**, pulsamos el ratón y posteriormente nos desplazamos hasta situarnos dentro del rectángulo del nivel flujo, en este momento volvemos de nuevo a pulsar el botón izquierdo del ratón. El programa nos dará una caja de texto vacía y el cursor parpadeante. Tecleamos **déficit federal neto** y pulsamos la tecla **Enter**. Nuestra pantalla tiene ahora el aspecto que aparece en la Figura 6.1. Observemos que el dibujo de la nube representa la frontera del modelo. En este caso la nube nos indica que no debemos preocuparnos, por el momento, de donde viene el déficit. Pero debemos ser cuidadosos hacia donde va dicho flujo, ya que lo estamos acumulando en el nivel **Deuda**.

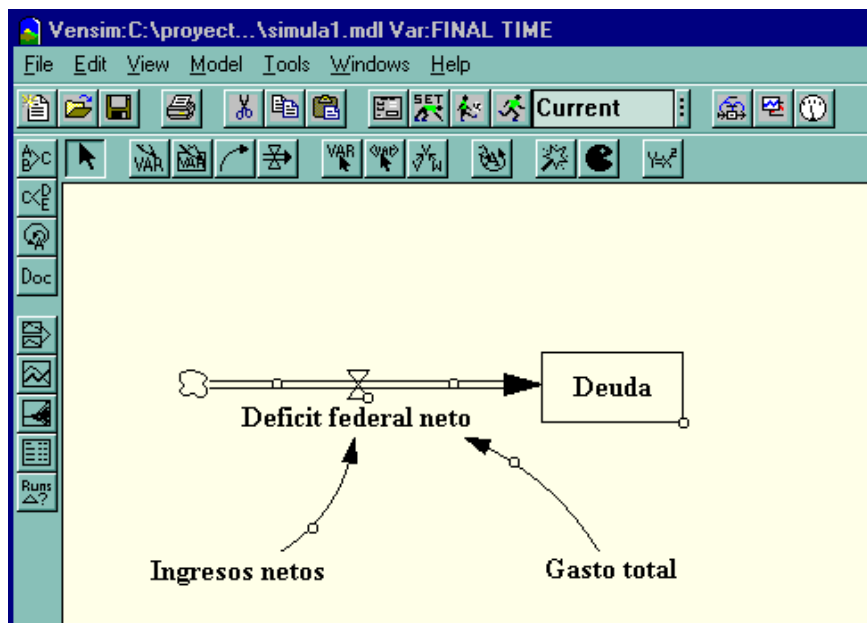


Figura 6.2

Si deseamos borrar algo del escritorio, elegimos el undécimo de los iconos de la barra de herramientas (**comecoco**) nos situamos encima de lo que deseemos borrar y pulsamos el botón del ratón. También podemos cambiar el nombre del nivel **Deuda**. Elegimos el tercer botón de la barra de herramientas, pulsamos encima del nivel **Deuda** y escribimos el nuevo nombre.

Ahora necesitamos crear las variables necesarias para determinar el flujo **déficit federal neto**. Asumamos que está determinada por dos variables, **Ingresos netos** y **Gasto total**. Seleccionamos el segundo de los iconos (VAR) y añadimos estas dos variables al modelo. Estas variables no están conectadas a la válvula o a la caja y reciben el nombre de variables auxiliares. Para mostrar gráficamente que el **déficit federal neto** está determinado por las variables auxiliares, tenemos que conectarlo a través de flechas. En primer lugar, elegimos de la barra de herramientas el cuarto de los botones, pulsamos encima de la variable auxiliar **Ingresos netos** y arrastramos el ratón hasta colocarnos encima del flujo **déficit federal neto**, finalmente volvemos a pulsar el botón del ratón.

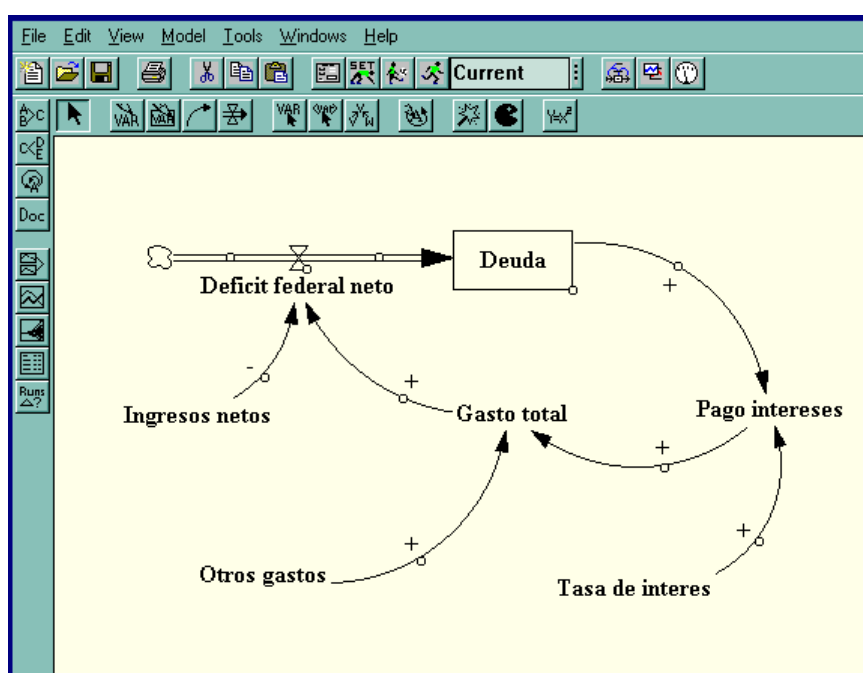


Figura 6.3

Si pulsamos en el primer botón de la barra de herramientas (aquella que tiene dibujada una flecha), entonces podemos seleccionar la variable que hemos creado y moverla por la pantalla. También podemos pulsar en el pequeño círculo que tienen las flechas y cambiar su curvatura. En este momento nuestro modelo tiene el aspecto que muestra la Figura 6.2.

Ahora, deseamos simbolizar en el diagrama la manera como afectan las variables auxiliares al flujo que hemos construido. Un incremento de los **Ingresos netos** hace disminuir la **Deuda**, mientras que un incremento del **Gasto total** ocasiona un aumento del **déficit**. Seleccionamos el primer botón de la barra de las herramientas (el que tiene dibujada una flecha), elegimos el círculo de la flecha que deseamos etiquetar con (+) o (-). Ahora, pulsamos con el ratón la tecla **+ - S0** que está situada

en la barra inferior del escritorio (segunda por la derecha) y aparecerá un menú del que elegimos el valor que nos interese. Repitiendo los pasos anteriores debemos completar el modelo hasta que tenga el aspecto de la Figura 6.3.

Finalmente, si deseamos etiquetar de forma positiva el ciclo de retroalimentación que hemos creado, procedemos de la siguiente manera: Elegimos el noveno de los botones de la barra de herramientas del escritorio y pulsamos en el centro del ciclo de retroalimentación. Después de pulsar en el centro del ciclo, nos aparecerá el cuadro de diálogo situado a la izquierda de la Figura 6.4.

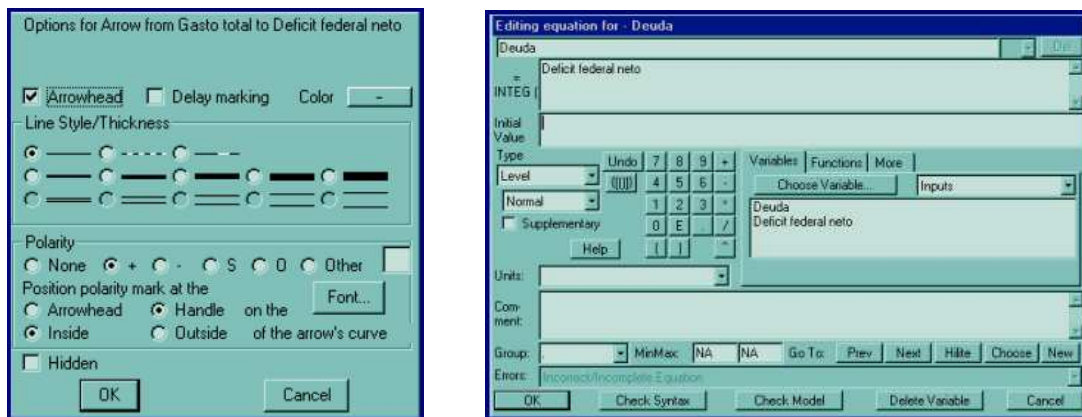


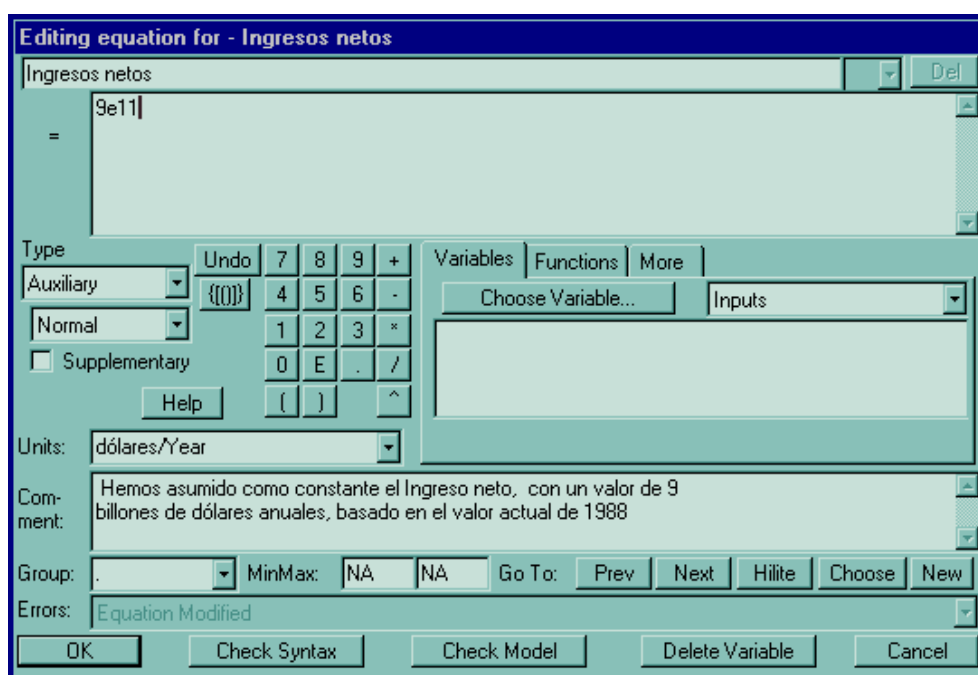
Figura 6.4

### 6.3.3 Especificación de las ecuaciones

Una vez que hemos construido nuestro modelo, necesitamos escribir las ecuaciones para cada una de las variables. La formulación de las ecuaciones es un paso fundamental en el proceso de construcción de un modelo dinámico. Para comenzar a escribir las ecuaciones, pulsamos el último de los botones ( $y = x^2$ ) de la barra de herramientas del escritorio. Entonces se iluminarán las variables de nuestro diagrama en el escritorio. Una variable iluminada nos indica que la ecuación para esa variable está incompleta. Las variables se clasifican en exógenas o endógenas. Las variables exógenas son aquellas que no forman parte del ciclo de retroalimentación. La **Deuda** de nuestro modelo tiene tres variables exógenas (**Ingresos netos**, **Otros gastos**, **Tasa de interés**) y cuatro variables endógenas.

Comenzamos escribiendo las ecuaciones para las variables exógenas. Pulsamos en la variable iluminada **Ingresos netos**. Entonces veremos el cuadro de diálogo que aparece a la derecha de la Figura 6.4. Una buena práctica en la construcción de modelos requiere que cada ecuación en un modelo tenga tres elementos: la ecuación, la unidad de medida y un comentario completo. Para escribir una ecuación para los **Ingresos netos** asumimos que éstos son constantes, y necesitamos introducir

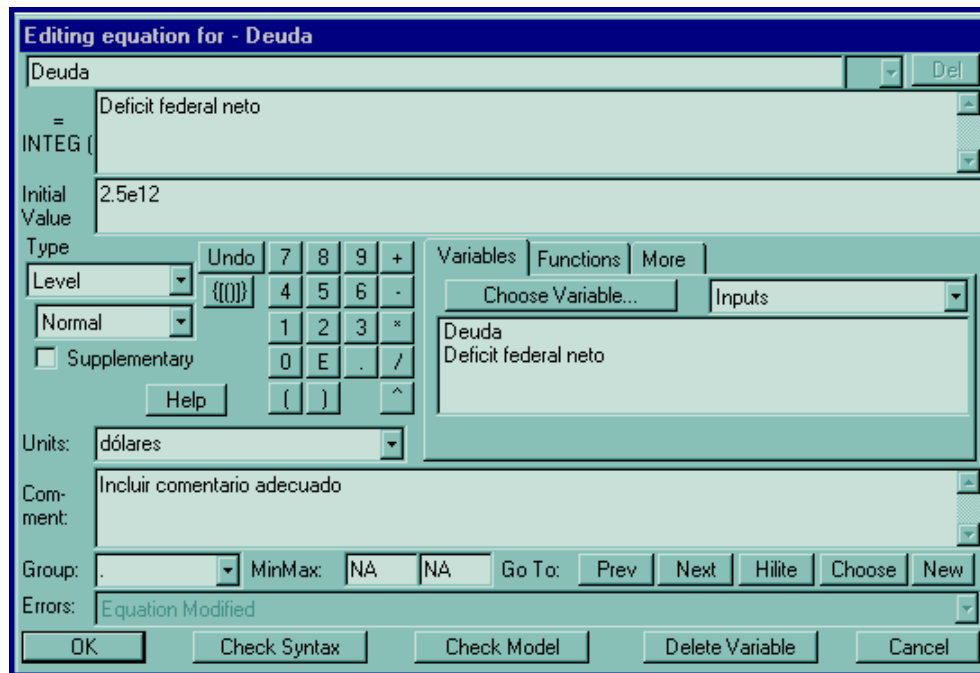
el número apropiado. En 1988 los **Ingresos netos** fueron aproximadamente de  $9 \times 10^{12}$  dólares anuales. Ahora, necesitamos rellenar las unidades. Los ingresos son una variable del flujo, por lo tanto una unidad apropiada para esta ecuación es dólares/year. Finalmente, necesitamos dar una descripción de esta ecuación. Podemos por ejemplo escribir el siguiente texto: *Hemos asumido como constante el Ingreso neto, con un valor de 9 billones de dólares anuales, basado en el valor actual de 1988.*



Cuando pulsamos OK volvemos al escritorio y aparecerán iluminadas todas las variables del diagrama excepto aquellas que hemos completado sus ecuaciones (**Ingresos netos**). A continuación proseguimos con el proceso de escribir las ecuaciones para el resto de las variables exógenas. Para ello utilizaremos la siguiente información:

- *Los gastos, excluidos los intereses de la deuda, fueron aproximadamente de 900 billones de dólares en 1988.*
- *El porcentaje de interés de la deuda nacional en 1988 fue alrededor del 7% anual.*

Ahora nos debemos centrar en las variables endógenas. Escribir las ecuaciones para los niveles y los flujos es ligeramente diferente. Empecemos por el nivel **Deuda**, para ello pulsamos de la barra de herramientas del escritorio el botón de las ecuaciones ( $y = x^2$ ) y posteriormente pulsamos dentro del nivel **Deuda**. Nos aparecerá la siguiente ventana de diálogo



Al contrario que los flujos y las constantes, los niveles requieren especificar un elemento adicional en su formulación. Después de escribir la ecuación, en primer lugar necesitamos un valor inicial. Escribimos la ecuación para el nivel en la caja correspondiente a la palabra **Integ**, que son las iniciales de **Integrate**. Significa que el nivel en cualquier momento en el tiempo es igual a la suma de todos los flujos de entrada, menos los flujos de salida, más el valor inicial.

Cuando creamos el diagrama con el nivel, los flujos, y la retroalimentación, habíamos conectado el **déficit federal neto** al nivel **Deuda**. El programa captura esta dependencia entre el flujo y el nivel, proporcionando una lista de las variables que se requieren y aparecen a la derecha de la caja de diálogo de la ecuación. (La variable que estamos formulando **Deuda**, también aparece por sí misma en la caja de las variables, pero nosotros solo necesitamos la entrada correspondiente al **Déficit federal neto**.) Debajo de la caja **Integ** está la correspondiente al valor inicial. En este lugar colocamos nuestro punto de partida para el correspondiente nivel. En 1988 la deuda federal era aproximadamente 2.5e12 de dólares. Escribimos por tanto 2.5e12, con lo cual completamos todas las especificaciones para la Deuda. Es decir, la Deuda es simplemente la acumulación del déficit federal neto desde 1988 añadida al valor inicial.

A continuación necesitamos especificar las ecuaciones para las variables auxiliares y el flujo. Usando la herramienta de las ecuaciones ( $y = x^2$ ), y pulsando sobre el **Pago de intereses**, nos aparecerá la ventana de diálogo correspondiente a es-



ta variable. Esta caja es idéntica a la anterior, y nos aparecen dos variables en su correspondiente caja. Estamos obligados a usar estas dos variables en nuestra ecuación. Cuando dibujamos el diagrama del modelo, habíamos conectado con flechas la variable **Deuda** y la constante **Tasa de interés** a la variable **Pago de intereses**. Si intentamos escribir la ecuación sin hacer uso de estas dos variables, Vensim PLE<sup>®</sup> nos dará un mensaje de error.

La cantidad de interés pagado es igual a la deuda actual que tenemos en el nivel multiplicada por la tasa de interés. Para introducir esta ecuación, pulsamos la variable **Deuda** de la caja de las variables, a continuación introducimos el signo \* de multiplicar y a continuación volvemos a pulsar **Tasa de interés** de la caja de las variables. Para completar la ecuación, necesitamos especificar las unidades, *Dólares/year*, e introducir un comentario adecuado para esta variable. Seguimos un proceso similar para completar el modelo.

### 6.3.4 Usando las herramientas de análisis de la estructura del modelo

El programa tiene cinco herramientas para analizar y entender la estructura de nuestro modelo, pero la más interesante es la herramienta de revisar (**unit-checking**). Lo más importante en las ecuaciones de cualquier sistema dinámico es su consistencia dimensional, que es tanto como decir que las unidades de medida deben ser las mismas a la izquierda y a la derecha de una ecuación. Por ejemplo, supongamos que hemos elegido como unidades en la **Deuda** los *dólares* y en la **Tasa de interés** *dólares/year*. Si pulsamos en **Units Check** nos aparecerá el siguiente mensaje de la Figura 6.5 (izquierda),

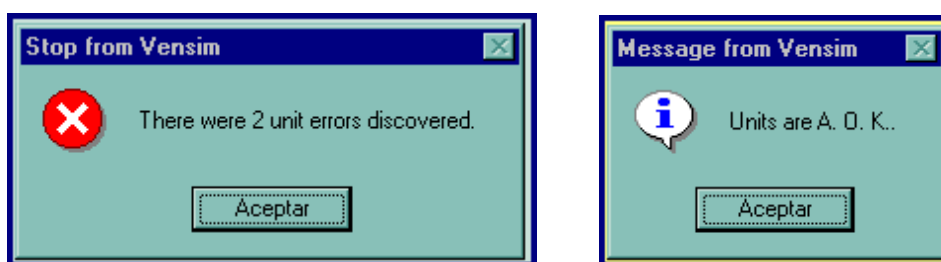


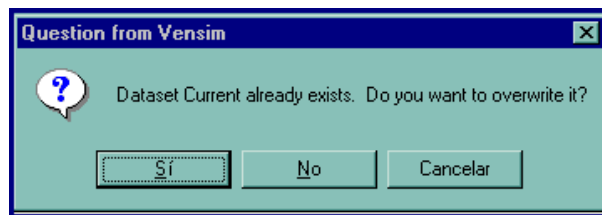
Figura 6.5

el problema es que, en este ejemplo, la ecuación **Pago de intereses** no está consistentemente dimensionada: el lado izquierdo y el derecho de la ecuación tienen unidades diferentes. Los **Intereses pagados** están medidos en *dólares/year*. La **Deuda**, al ser un nivel, está medida en *dólares*. Si multiplicamos **Deuda** por algo con unidades en *dólares/year* el resultado estará medido en *dólares<sup>2</sup>/year* y aquí

aparece el error. La unidad apropiada para la **Tasa de interés** es  $1/\text{year}$ . Si la introducimos en el lugar apropiado y pulsamos **Units Check** nos aparecerá el mensaje de la Figura 6.5 (derecha).

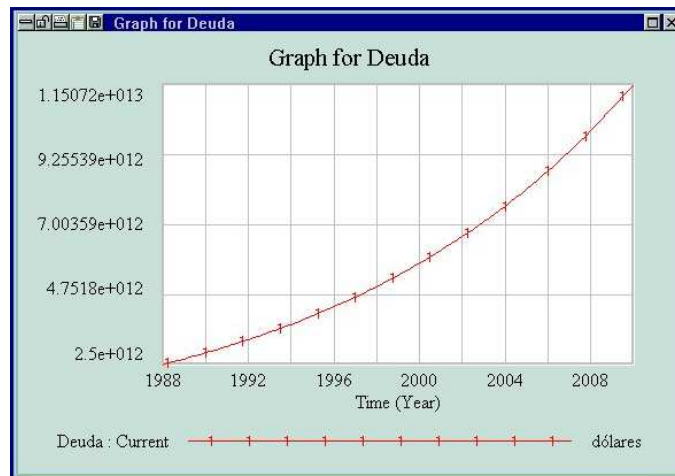
### 6.3.5 Simulando el modelo

El programa que estamos utilizando también tiene herramientas para analizar el comportamiento de nuestro modelo. Para ejecutar una simulación debemos pulsar el icono del hombre corriendo en la barra de herramientas superior, Vensim PLE® nos mostrará la siguiente ventana de diálogo:



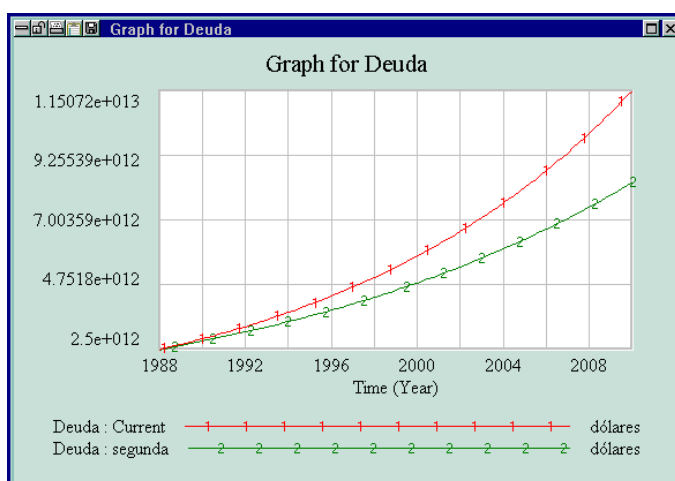
Si deseamos crear otra base de datos, pulsamos **No**, en caso contrario si queremos sobrescribir pulsamos **Si**, y empezará la simulación de nuestro modelo. Si hemos pulsado **No** debemos guardar los datos con un nombre (por ejemplo *simula1*), y a continuación pulsamos **Save**.

Una vez que la simulación se ha completado, podemos mirar los resultados. Tenemos muchas opciones diferentes, pero la más útil es la herramienta gráfica. Para crear un gráfico de la **Deuda** debemos seleccionarla en primer lugar. Para visualizar el gráfico, pulsamos el sexto de los botones en la barra de herramientas vertical (barra de herramienta de análisis). Para el año 2010, bajo los supuestos realizados, la deuda federal será de más de 10 trillones de dólares, cuatro veces la deuda de 1988.

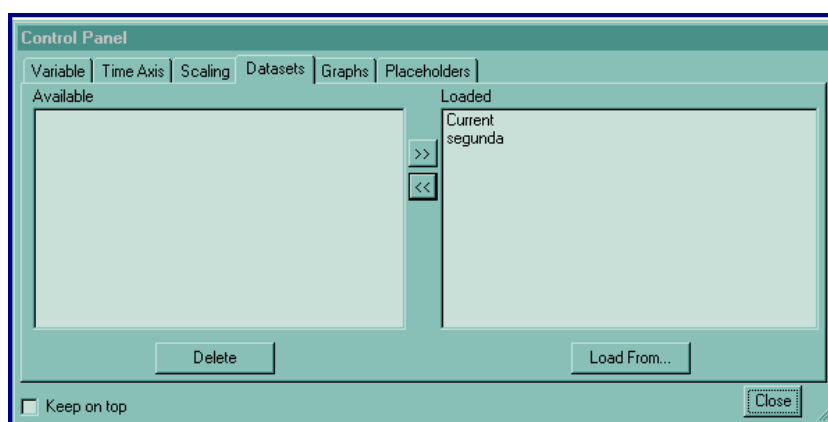


El programa tiene otras maneras diferentes de presentar el resultado de la simulación. Pulsando el quinto de los botones de la barra de herramientas de análisis, nos aparecerá un gráfico de la variable seleccionada, con todas las variables que la determinan. También podemos presentar las salidas en forma de tablas, eligiendo el penúltimo de los botones de la barra de herramientas de análisis.

Una vez que hemos realizado una simulación, podemos ejecutar diferentes simulaciones modificando por ejemplo la tasa de interés anual. Supongamos que ésta fuera un 5.5% en lugar de un 7%. Para ello pulsamos el botón correspondiente a las ecuaciones ( $y = x^2$ ) y cambiamos el valor en la variable adecuada. Volvemos a realizar la simulación y obtenemos el siguiente resultado.



El programa nos permite crear nuestros propios gráficos, para ello elegimos el último de los botones (el reloj) de la barra de herramientas superior y nos aparecerá la siguiente ventana de diálogo



NOTAS COMPLEMENTARIAS
-----------------------