

# ***INTEGRA DOS / C++ .1***

## **1. ¿QUÉ ES INTEGRA?**

Generalmente los sistemas dinámicos se modelan con ecuaciones diferenciales cuyas soluciones no pueden obtenerse analíticamente. Esto se debe al hecho típico de que las interacciones entre los diferentes componentes del sistema obedecen a una dinámica no lineal. Debido a esto, es importante hacer simulaciones numéricas de los sistemas dinámicos que permitan, mediante la experimentación computacional, estudiar sus diferentes comportamientos. Para este fin, actualmente la computadora se ha convertido en el laboratorio ideal de experimentación.

*INTEGRA* constituye un prototipo de software desarrollado para asistir a la enseñanza e investigación de los sistemas dinámicos, modelados con ecuaciones diferenciales. Así, bajo un ambiente sencillo de operar, *INTEGRA* permite analizar sistemas de ecuaciones diferenciales y en diferencias, en dos y tres dimensiones. El sistema usa su propia biblioteca de métodos numéricos para resolver estas ecuaciones diferenciales. De tal forma que mediante la integración numérica de las ecuaciones diferenciales, *INTEGRA* permite hacer simulaciones de la dinámica de estos sistemas.

*INTEGRA* ofrece varias formas de visualización y despliegue gráfico de los resultados de los cálculos matemáticos. El usuario tiene acceso a varios métodos de integración numérica que le permiten calcular y visualizar las evoluciones del sistema dinámico dentro de su espacio de estados, así como graficar los cursos temporales de sus variables de estado. Esta visualización puede hacerse en espacios de dos o tres dimensiones, donde pueden escogerse condiciones iniciales interactivamente, moviendo el cursor en la ventana de trabajo, rotar los ejes de coordenadas para obtener vistas de las órbitas y de sus proyecciones desde diferentes perspectivas. Para sistemas dinámicos cuyo espacio de estados es bidimensional, puede dibujarse el campo vectorial asociado a la ecuación diferencial.

Con *INTEGRA* el usuario investiga el comportamiento cualitativo de los sistemas dinámicos usando un amable sistema de ventanas, que permite ejecutar las opciones de diversos menús. Las opciones más socorridas de estos menús se pueden acceder directamente activando íconos con el mouse.

El sistema es especialmente útil para trabajar con sistemas dinámicos que involucran parámetros e investigar los cambios cualitativos (bifurcaciones) que ocurren en la dinámica del sistema al variar los valores de éstos.

El usuario de *INTEGRA* tiene acceso a través de la red Internet a una biblioteca organizada de sistemas dinámicos, en la dirección:

<http://www.fciencias.unam.mx/DinamicaNoLineal>

Cuyas ecuaciones puede editar y personalizar libremente. Los archivos de la biblioteca, aunque tienen asociados un espacio de texto libre para adjuntar comentarios o explicaciones a los sistemas dinámicos incluidos, son de tamaño reducido y ocupan muy poco espacio en disco duro. El usuario puede guardar una gran cantidad de ellos y usar *INTEGRA* cuando lo desee para generar, automáticamente, archivos ejecutables, ligando sus módulos a los pequeños archivos de la biblioteca. Estos programas ejecutables generados por *INTEGRA*, pueden ser usados independientemente de los otros módulos del sistema en cualquier PC que tenga una infraestructura mínima de hardware.

*INTEGRA* cuenta también con un módulo de *CONTROL DE GRÁFICOS* que permite, grabar, editar y visualizar e imprimir las imágenes generadas por estos programas ejecutables. Estas imágenes pueden imprimirse con ayuda de este módulo en una amplia variedad de impresoras.

## 2. Requerimientos del Sistema

La versión **INTEGRA DOS / C++ 1** ha sido desarrollada con el compilador (*Borland*) con el lenguaje de programación C++ (versión 4.5) y corre bajo el sistema operativo *MS-DOS*, *Windows 3.xx*, *95* o *98* (en *DOS Prompt*), teniendo los siguientes requerimientos:

### 2.1 Requerimientos de Hardware

- Un procesador 386 o superior (no es necesario el coprocesador matemático)
- Monitor *VGA* o *SVGA*.
- 2 *MB* de *RAM*.
- 6 *MB* en disco duro libres.
- Mouse de dos botones

### 2.2 Requerimientos de Software

- Sistema operativo *MS-DOS 3.1* o superior.
- Manejador de mouse para *DOS* instalado antes de correr el sistema *INTEGRA*.
- Mínimo 540 *KB* libres sobre el *Prompt* de *MS-DOS*.

Todos los programas del sistema *INTEGRA* manejan 4 tipos de modos gráficos, permitiendo dar una definición del área de trabajo adecuada a las necesidades del usuario y las capacidades del equipo de computo disponible.

- *VGA Color 640 x 480 a 16 colores*
- *SVGA Color 640 x 480 a 256 colores (\*)*
- *SVGA Color 800 x 600 a 256 colores (\*)*
- *SVGA Color 1024 x 768 a 256 colores (\*)*

(\*) *Requiere cargar antes el programa HGXMOUSE.EXE que se encuentra en el subdirectorio C:\INTEGRA .*

Nota : Para usar algún modo de *SVGA* se requiere ser soportado por la tarjeta gráfica y el monitor de la *PC*. No todos los equipos que poseen la tarjeta gráfica y/o monitor *SVGA*, cumplen con los

estándares actuales, por ello el programa puede no correr correctamente en su equipo.

### **3. MODULOS DEL SISTEMA *INTEGRA***

El sistema *INTEGRA DOS/C++ .1* consta de los directorios *DOCS*, *UTILS*, *EXES* y dos módulos ejecutables: *INTERFAZ.EXE*, *CTRL\_GRF.EXE* y de los archivos ejecutables generados por *INTERFAZ.EXE*, sus características principales son descritas a continuación:

#### **3.1 INTERFAZ.EXE**

La *INTERFAZ* del sistema *INTEGRA* permite al usuario crear y manejar organizadamente una biblioteca de sistemas dinámicos para ser estudiados individual o comparativamente. Cada uno de estos programas constituye lo que llamamos un *proyecto*. Así, un proyecto es un conjunto de *sistemas*, a partir del proyecto se genera un programa ejecutable que permita analizar el comportamiento de los sistemas dinámicos definidos en este.

La *INTERFAZ* de *INTEGRA* es el vehículo por medio del cual el usuario define y crea los proyectos de su interés. Pero no sólo esto, la interfaz también nos permite:

- i) Editar los proyectos (ecuaciones, parámetros, etc...)
- ii) Escribir, leer y editar texto libre asociado a ellos
- iii) Manejar conjuntos de proyectos y mover sistemas de un proyecto a otro.

Para esto la *INTERFAZ* crea para cada proyecto un formato (con la extensión *.pry*), que contiene la definición de los sistemas contenidos en el proyecto. La *INTERFAZ* permite unir estos machotes a los diversos módulos del sistema *INTEGRA* para generar programas ejecutables (con la extensión *.EXE*) que el usuario podrá utilizar de manera independiente a la *INTERFAZ*.

De esta manera la *INTERFAZ* provee un cómodo sistema de organización, documentación y mantenimiento de bibliotecas de proyectos. Editando las definiciones originales de los machotes se pueden modificar los diversos sistemas del proyecto y generar nuevamente programas ejecutables con las modificaciones pertinentes.

### **3.1.1. El Manejador de Proyectos y el Manejador de Sistemas**

El programa *INTERFAZ* se divide en dos partes: Un *manejador de proyectos* y un *manejador de sistemas*. El primero se encarga de los proyectos y el segundo de los diversos sistemas que contenga cada proyecto.

#### **El manejador de proyectos permite:**

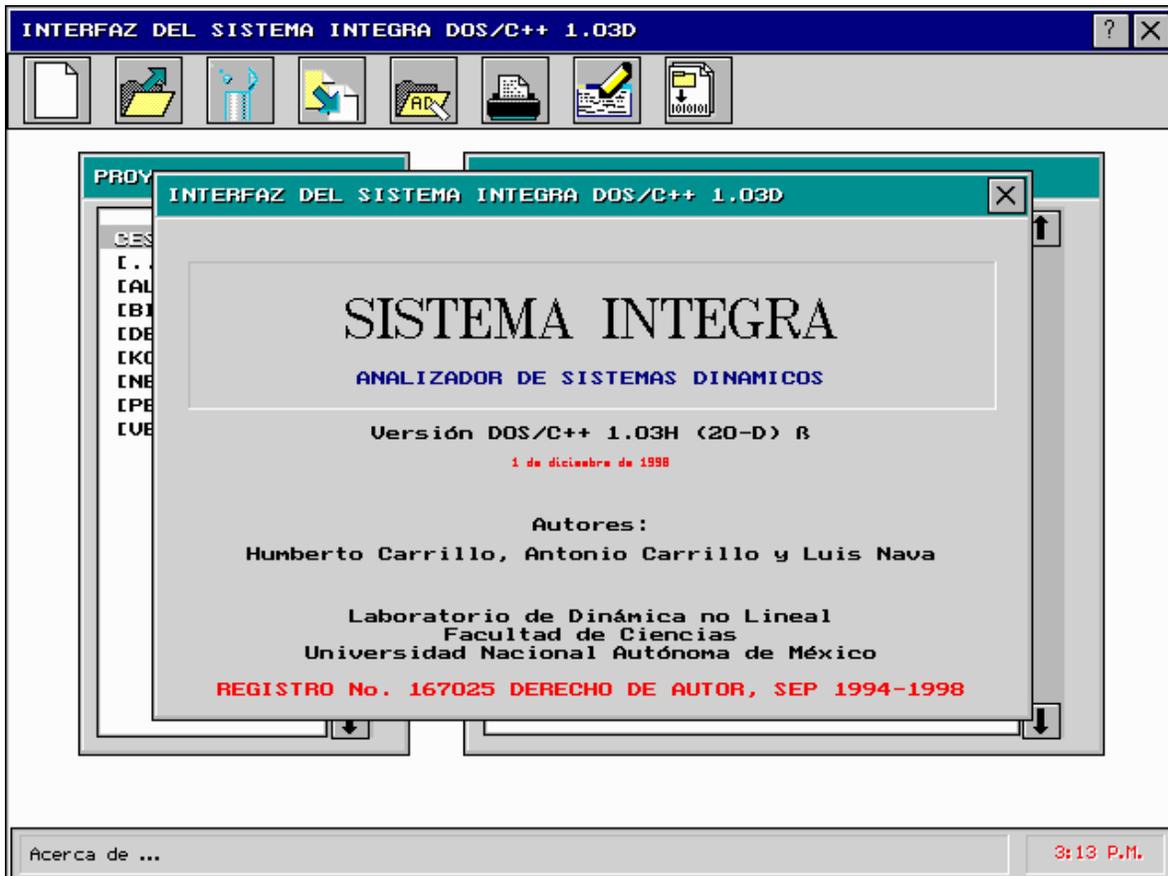
- Crear Nuevos Proyectos
- Cargar Proyectos
- Borrar Proyectos
- Duplicar Proyectos
- Renombrar Proyectos
- Imprimir Proyectos
- Editar Descripción del Proyecto
- Generar Archivos Ejecutables

#### **El manejador de sistemas permite:**

- Crear Nuevos Sistemas
- Borrar Sistemas
- Duplicar Sistemas
- Renombrar Sistemas
- Grabar Proyectos
- Editar Ecuaciones
- Editar Descripción del Sistema
- Imprimir Sistema
- Generar Archivos Ejecutables
- Retornar al Manejador de Proyectos

### 3.1.2. Descripción de la *INTERFAZ*

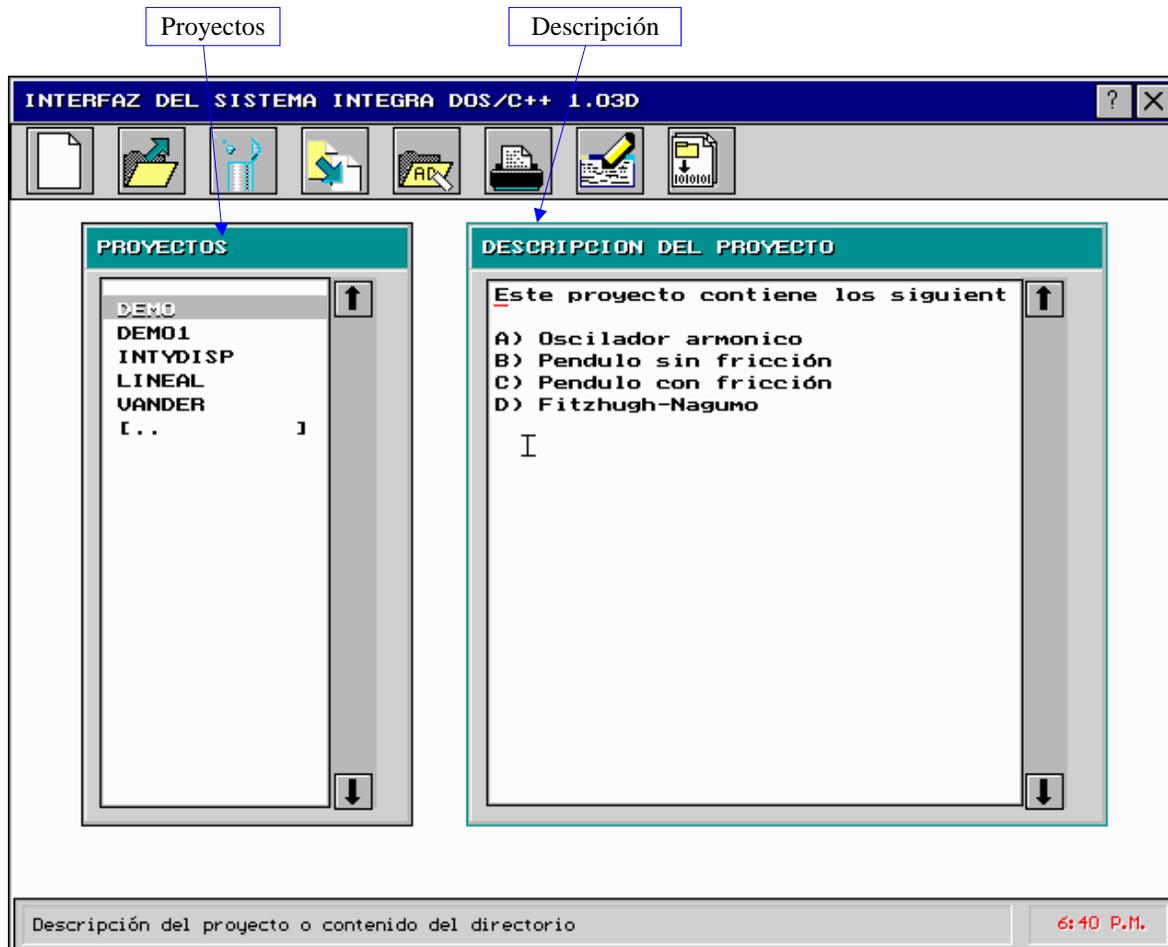
Al ingresar al programa *INTERFAZ* del sistema *INTEGRA* se despliega la siguiente ventana de presentación:



Al cerrar esta ventana aparece la ventana del Manejador de proyectos.

### 3.1.3. Manejador de Proyectos

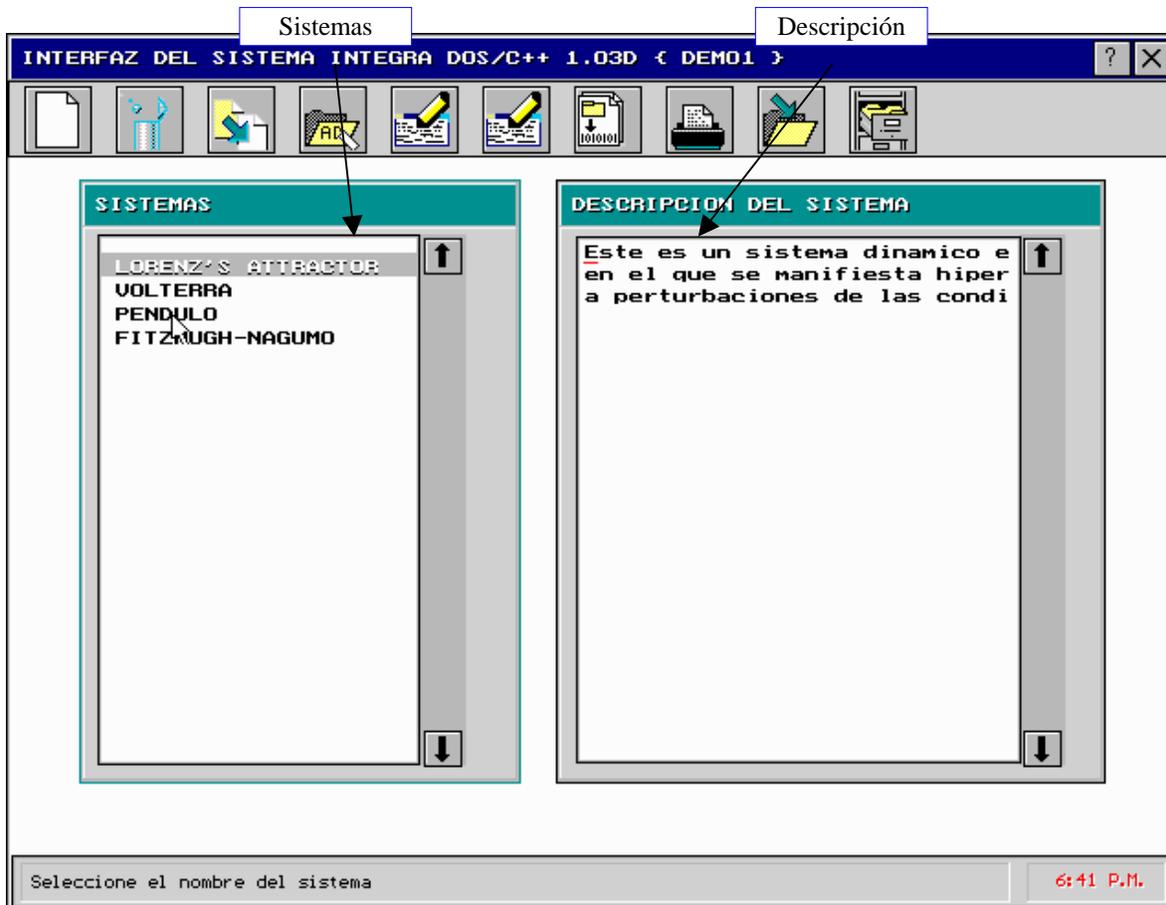
El manejador de proyectos tiene la función de crear y dar mantenimiento a los proyectos que contienen a los diversos sistemas de ecuaciones, así como generar archivos ejecutables a partir de los proyectos, para este propósito se tiene la siguiente ventana de trabajo:



Se destacan dos ventanas, en la de la izquierda (Proyectos) aparecen los diversos proyectos o subdirectorios existentes actualmente dentro del sistema de *INTEGRA* y en la de la derecha (Descripción del Proyecto) aparece la descripción del proyecto seleccionado en la ventana de proyectos.

### 3.1.4. Manejador de Sistemas

El manejador de sistemas tiene por función el crear y dar mantenimiento a los sistemas contenidos dentro del proyecto, también el generar al archivo ejecutable de este proyecto. Para esto se despliega la siguiente ventana de trabajo:



Se destacan dos ventanas, en la de la izquierda (Sistemas) aparecen los diversos sistemas existentes dentro del proyecto y en el de la derecha (Descripción del Sistema) aparece la descripción del sistema seleccionado en la ventana de sistemas.

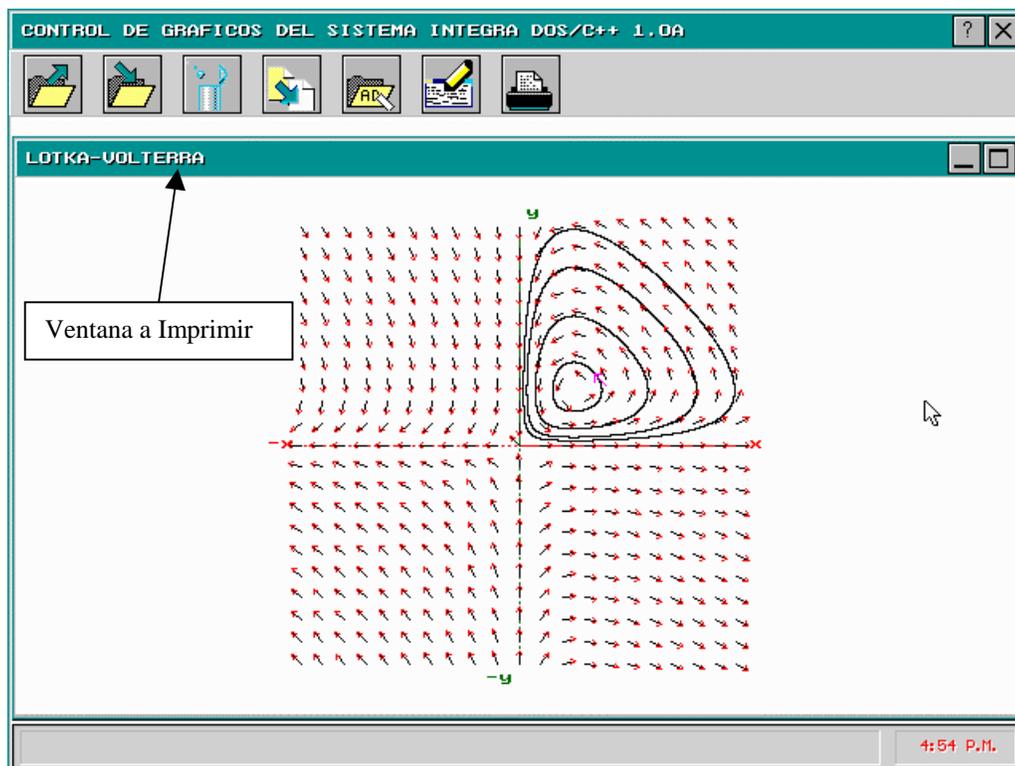
## 3.2. CTRLGRF.EXE

El programa *CTRL\_GRF.EXE* permite leer, grabar y editar las imágenes que despliegan los ejecutables generados por el programa *INTERFAZ.EXE*, del sistema *INTEGRA DOS/C++ .1* . Las imágenes editadas pueden ser impresas en una amplia gama de impresoras.

El programa *CTRL\_GRF.EXE* permite al usuario:

- Leer archivos de órbitas generados por los ejecutables de *INTERFAZ.EXE*
- Imprimir los archivos de órbitas generados por los ejecutables de *INTERFAZ.EXE* en una gran variedad de impresoras
- Ayuda en línea

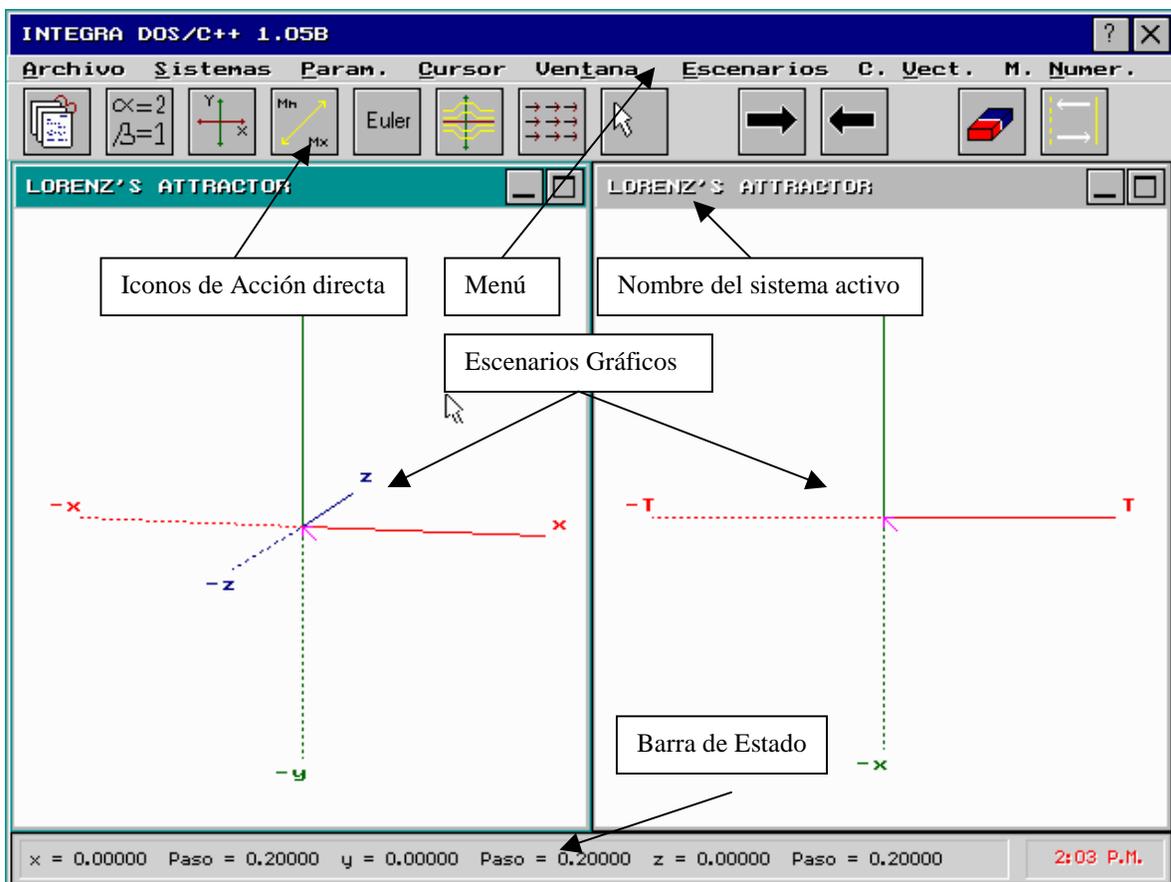
Ventana típica del programa de *CTRL\_GRF.EXE*



### 3.3. Ejecutables Generados por la *INTERFAZ*

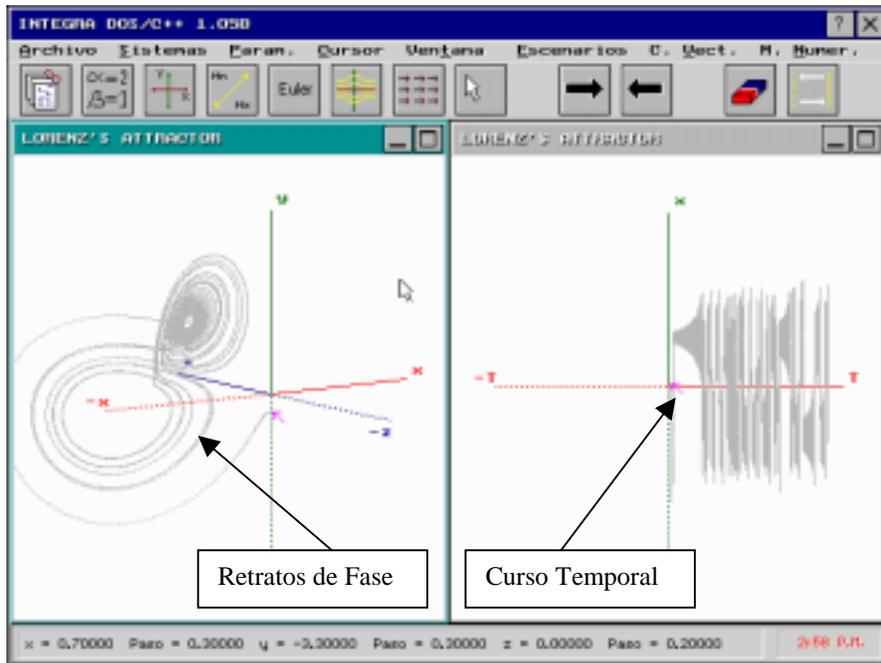
Una vez hecha la definición de los sistemas con el programa *INTERFAZ*, y generado el archivo ejecutable a partir de ella (que tendrá el mismo nombre del proyecto pero con la extensión EXE), el usuario podrá analizar los sistemas dinámicos contenidos en el mismo, corriendo ese ejecutable.

Al correr el programa ejecutable generado por la *INTERFAZ* de *INTEGRA* se muestra la siguiente pantalla principal:

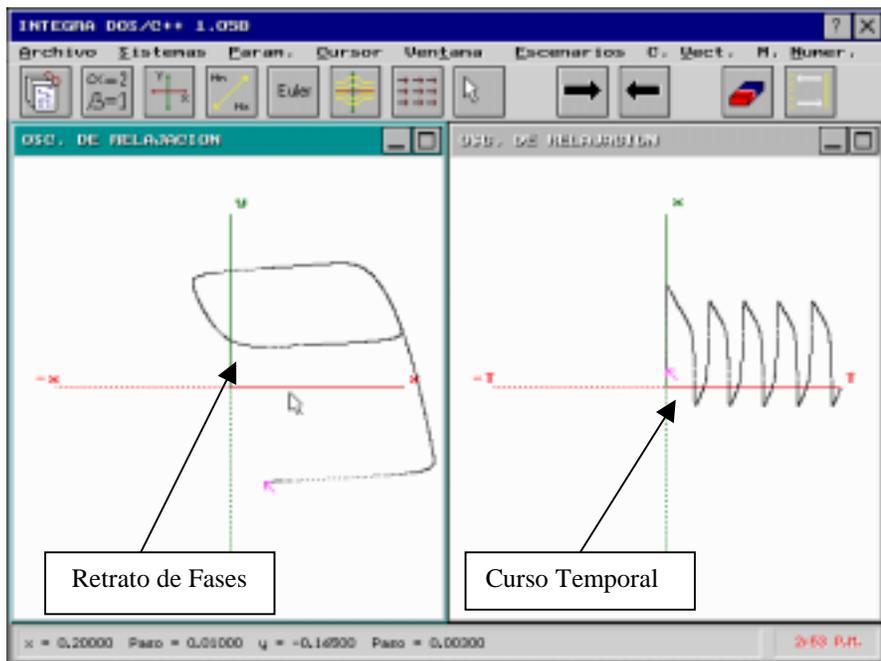


En ella se puede seleccionar la condición inicial usando las teclas y solicitar la gráfica del sistema del sistema activo.

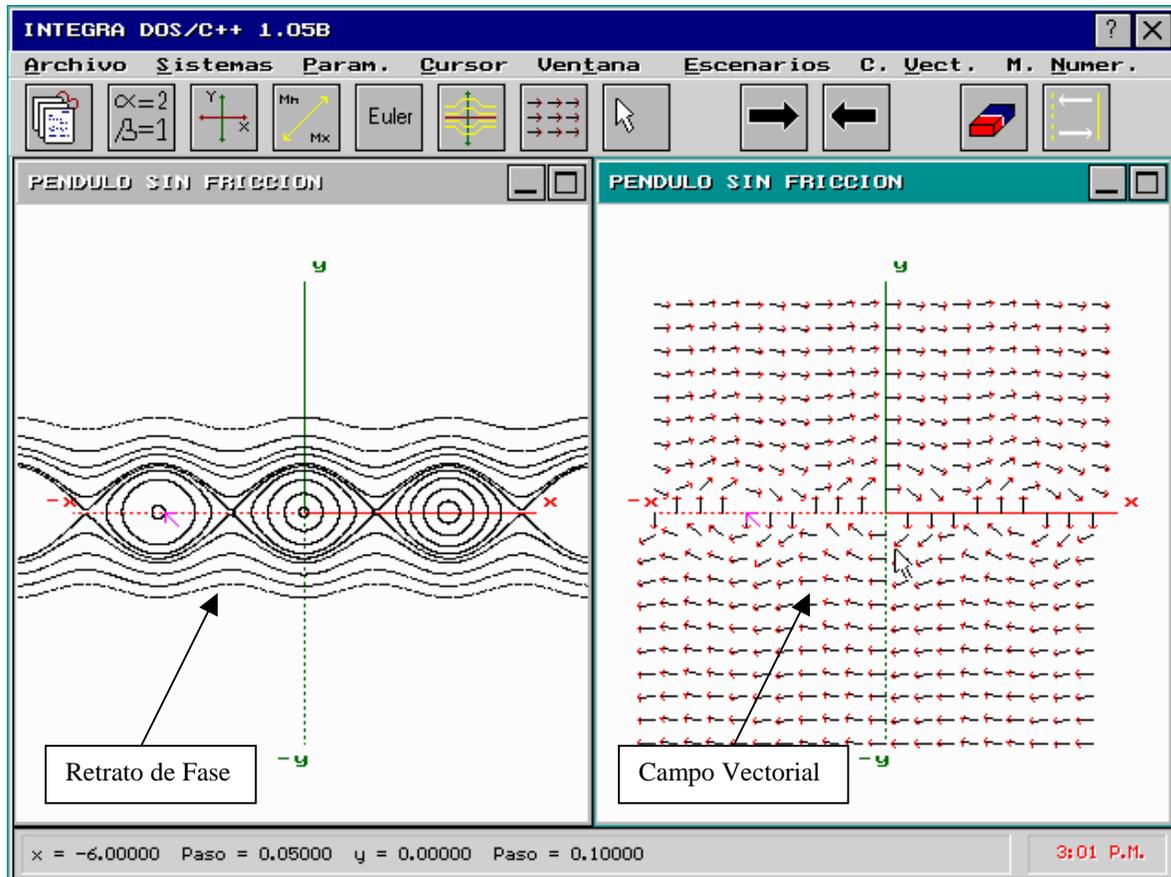
Por ejemplo, el *atractor de Lorenz* se obtiene el despliegue gráfico siguiente:



Para sistemas bidimensionales, como las *neuronas de FitzHugh-Nagumo* se pueden obtener imágenes como la siguiente:



Para sistemas bidimensionales podemos graficar el campo direccional como se muestra a continuación para el péndulo sin fricción:



Los ejecutables generados por *INTERFAZ.EXE* permiten realizar las siguientes funciones:

- Selección del sistema a trabajar de manera interactiva
- Permite cambiar el valor de los parámetros de cada sistema del proyecto
- Selección de la condición inicial usando teclas
- Selección de una condición inicial específica (capturada por el usuario)
- Depliegue de ejes coordenados en dos y tres dimensiones
- Permite seleccionar el subconjunto de variables de cada sistema que serán visualizadas, incluyendo al tiempo como una de ellas para visualizar cursos temporales

- Graficación del campo vectorial (dimensión dos)
- Graficación de ceroclinas del sistema (dimensión dos)
- Graficación de isoclinas del sistema (dimensión dos)
- Graficación de las funciones auxiliares definidas por el usuario en la INTERFAZ (como funciones de x o funciones de y)
- Edición y graficación cualquier función auxiliar
- Almacenamiento y recuperación de las órbitas graficadas
- Almacenamiento de la pantalla completa en formato GIF
- Selección interactiva de los métodos numéricos y modificación de sus parámetros de configuración.
- Los métodos numéricos de integración que posee el sistema son los siguientes:
  - Euler 1er orden
  - Euler modificado 2do orden
  - Punto medio 2do orden
  - Heun 2do orden
  - Runge-Kutta 4to orden
  - Euler de paso variable 1er orden
  - Euler modificado de paso variable 2do orden
  - Runge-Kutta de paso variable 4to orden
  - Runge-Kutta-Fehlberg de paso variable 4to orden
- Visualización de la descripción del proyecto
- Visualización de la descripción de cada uno de los sistemas que constituyen el proyecto
- Ayuda en línea para el usuario

## 4. Generar un proyecto con INTEGRAL DOS/C++ .1

Consideramos como ejemplo el sistema de Lorenz, el cual es un sistema dinámico tridimensional que tiene un interesante atractor global y el que se manifiesta hipersensibilidad respecto a perturbaciones en las condiciones iniciales. Este sistema tiene tres parámetros ( $s, r, b$ ) y usaremos los siguientes valores, por omisión, para ellos:

$$\begin{aligned} s &= 10 \\ r &= 28 \\ b &= 2.666667 \end{aligned}$$

Sus variables de estado son  $x, y, z$  y sus ecuaciones son:

$$\begin{aligned} x' &= s*(y-x) \\ y' &= r*x - y - x*z \\ z' &= x*y - b*z \end{aligned}$$

Para generar el proyecto que permita estudiar este sistema lo primero que debemos hacer es solicitar una sesión de MS-DOS al sistema operativo.

Una vez en el MS-DOS Prompt hay que cambiar al subdirectorio del sistema *INTEGRAL DOS/C++ .1*, para ello tecleamos el siguiente comando:

```
CD \INTEGRAL
```

Una vez posicionado en el directorio *C:\INTEGRAL* se ejecuta el programa *INTERFAZ* usando el comando:

```
INTERFAZ 0i
```

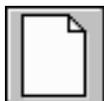
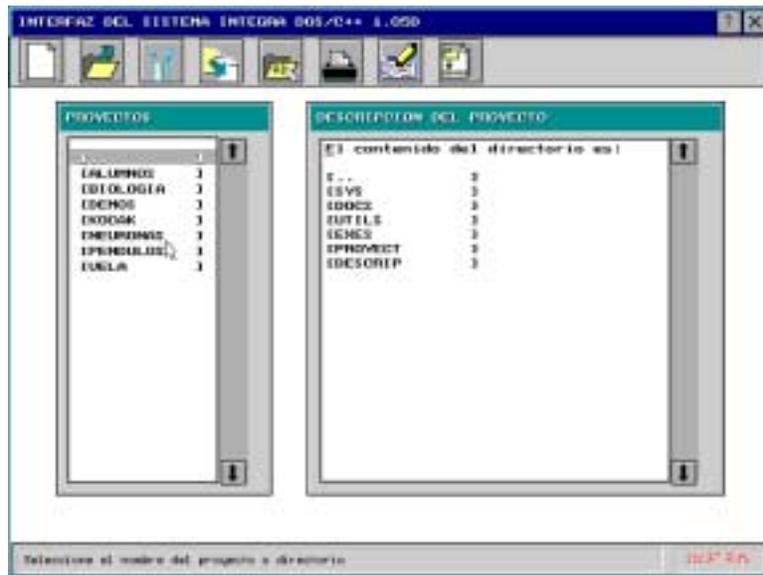
Al ingresar al programa *INTERFAZ* del sistema *INTEGRAL* se despliega la siguiente ventana de presentación:

---

<sup>i</sup> El dígito cero es por la resolución del monitor en VGA 640x480 pixeles a 16 colores

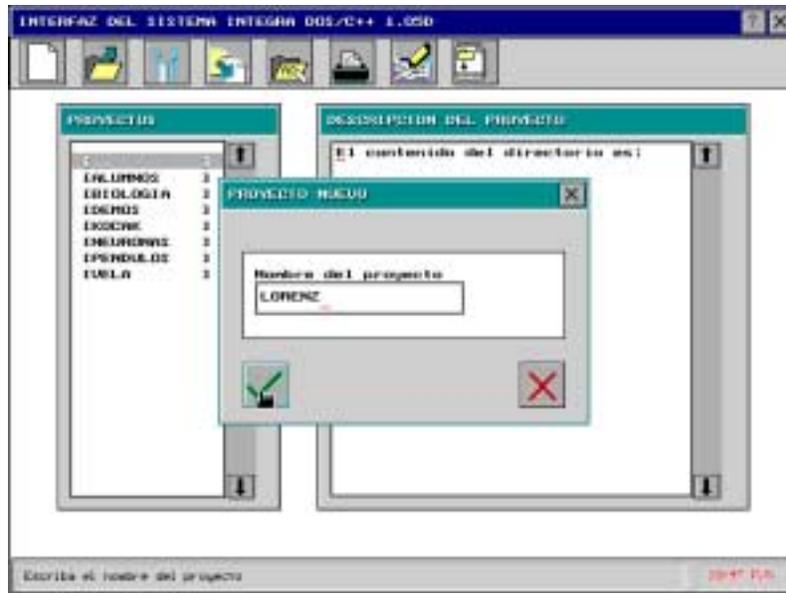


Al cerrar esta ventana aparece la ventana del Manejador de proyectos. Para crear un nuevo proyecto presionamos el ícono:



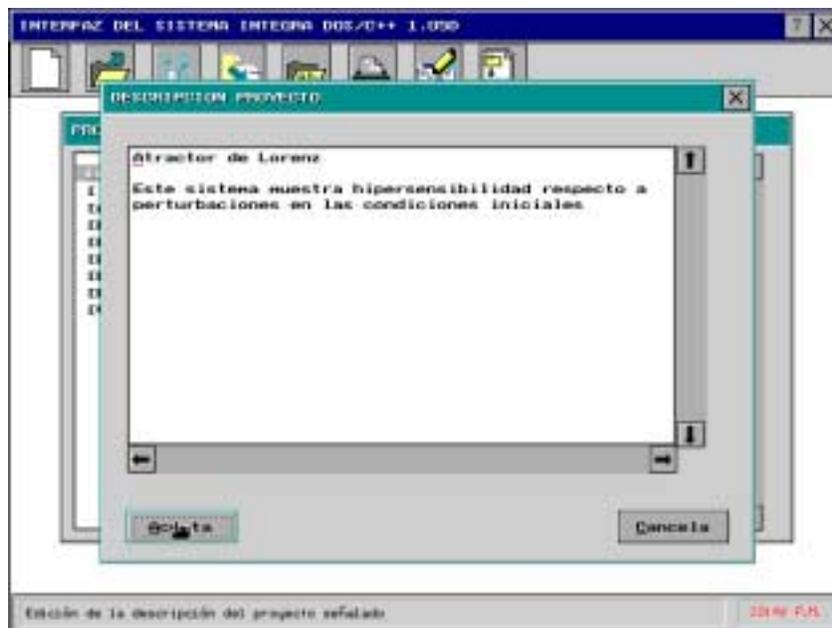
## Crear Nuevo Proyecto

Al activar este ícono (o al usar las teclas   o ) aparece la siguiente caja de diálogo.

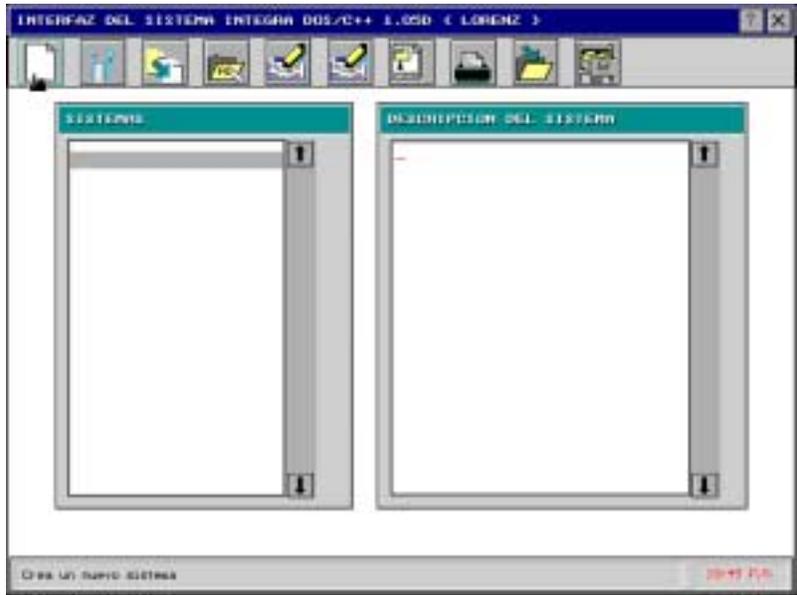


En ella se introduce el nombre del nuevo proyecto por ejemplo, *Lorenz*. Para terminar activamos el ícono de aceptar.

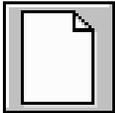
Después de teclear el nombre del proyecto, se abrirá la caja de diálogo para introducir la descripción del proyecto.



Una vez aceptada la descripción del proyecto, el control del programa pasa a otra ventana, la ventana del manejador de sistemas. En ella se especifican los sistemas que contendrá el proyecto.

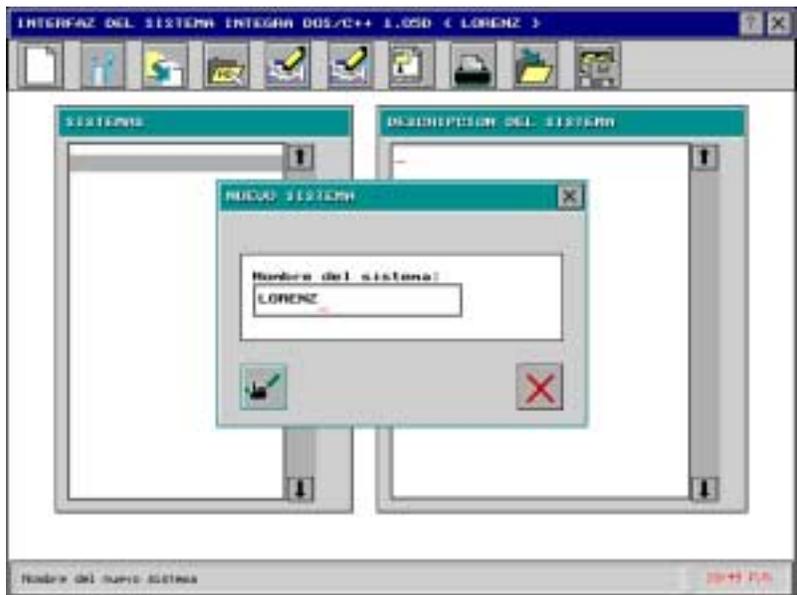


Para definir los sistemas que integraran el proyecto que se está creando presionamos el siguiente ícono:



## Crear Nuevo Sistema

Al activar este ícono (o al usar las teclas   o ) aparece la siguiente caja de diálogo solicitando el nombre del nuevo sistema



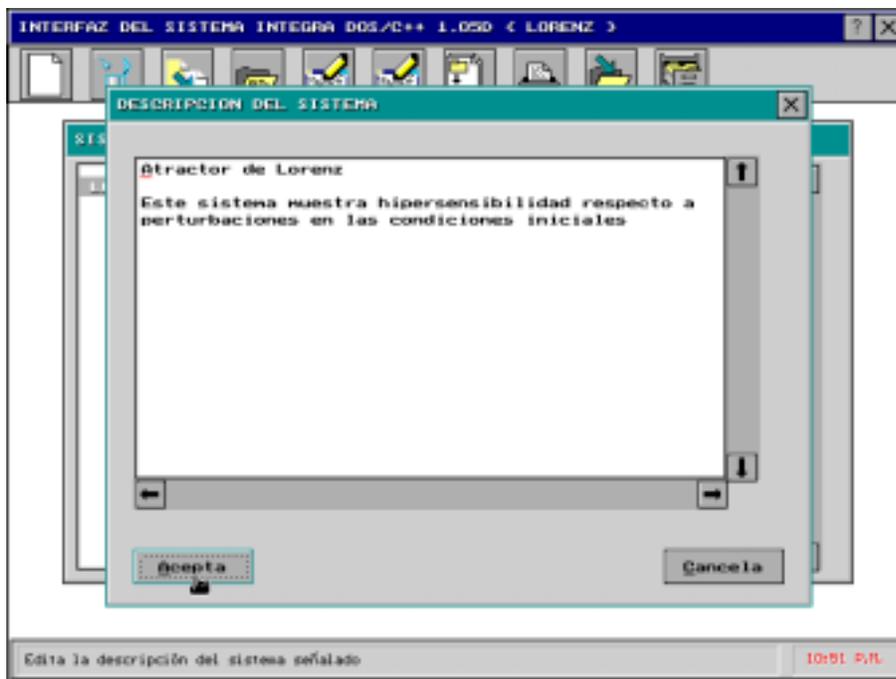
Editamos el nombre que aparece por omisión, para generar el nuevo nombre y para terminar activamos el ícono de aceptar.

Si se desea introducir comentarios o alguna información en la sección de descripción del sistema, la capturamos presionando el ícono:



## Editar Descripción del Sistema

Al activar este ícono (o al usar las teclas  ) abre una caja de diálogo que permite introducir o editar la descripción del sistema que se encuentra activo



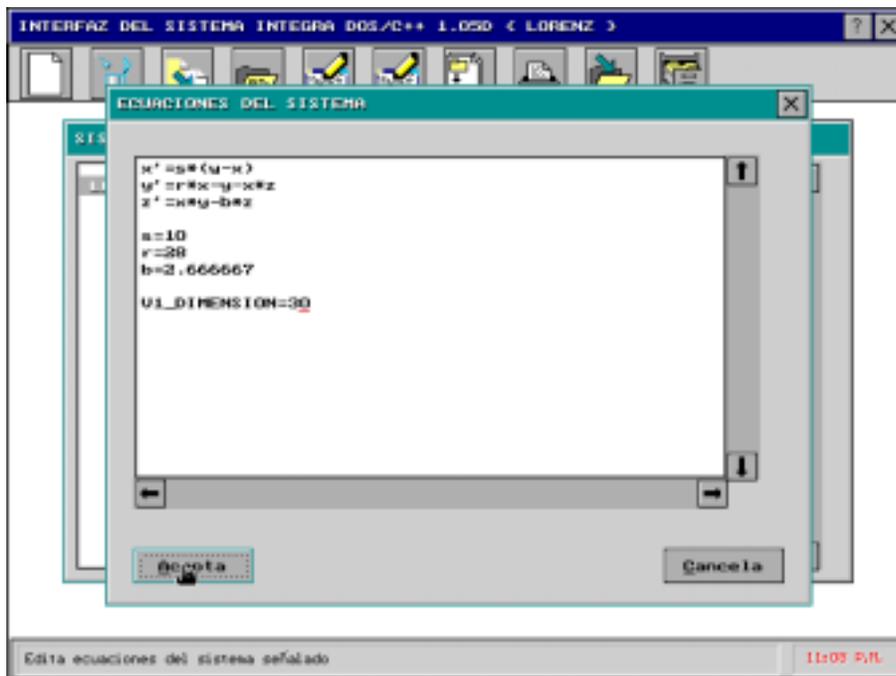
Editamos la descripción del sistema en formato libre, para terminar activamos el ícono de aceptar. Esta información estará disponible desde el archivo ejecutable.

Para capturar las ecuaciones y los parámetros del sistema presione el ícono:



## Editar Ecuaciones y Parámetros

Al activar este ícono (o al usar las teclas  ) aparece la siguiente caja de diálogo mostrando las ecuaciones, parámetros, funciones auxiliares y variables de configuración del sistema que se encuentre activo, si estas ya han sido capturadas.



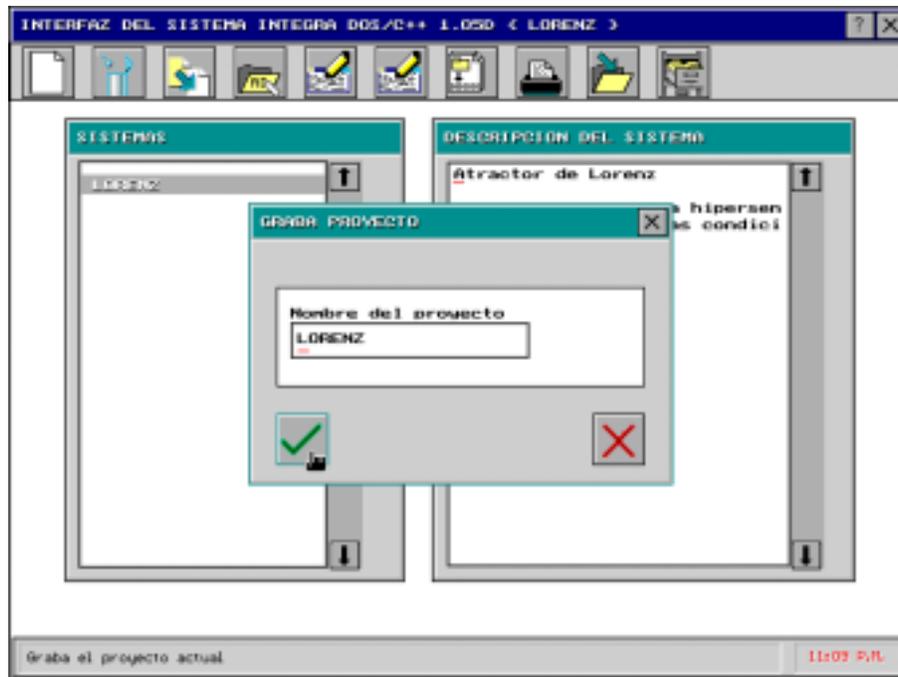
Introducimos (o editamos) las ecuaciones, parámetros, etc. del sistema; para terminar activamos el ícono de aceptar.

Todo este proceso que hemos indicado, se repite si se quiere introducir o editar más sistemas. Una vez concluido todo el proceso de captura o edición hay que grabar el proyecto usando el ícono:



## Grabar Proyecto

Al activar este ícono (o al usar las teclas ) aparece la siguiente caja de diálogo mostrando el nombre del proyecto.



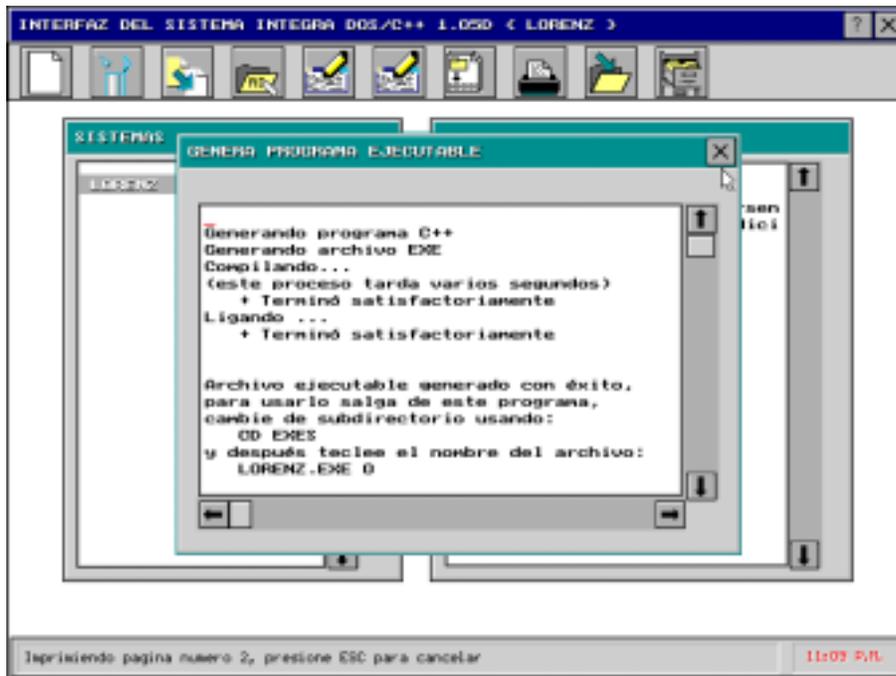
Editamos el nombre, que aparece por omisión, para generar el nuevo nombre; para terminar activamos el ícono de aceptar.

Finalmente generamos el archivo ejecutable de este proyecto usando el ícono:



## Generar Archivo Ejecutable

Al activar este ícono (o al usar las teclas ) automáticamente se genera el archivo ejecutable del proyecto. Si el proyecto no ha sido grabado, aparecerá una ventana mostrando el nombre del proyecto y preguntando si desea grabarlo o no. No es necesario grabar el proyecto para generar el archivo ejecutable (esto es especialmente útil al hacer modificaciones temporales al proyecto actual). Al cerrar dicha ventana se reporta el estado del programa en la siguiente ventana:



En esta ventana se reportan los estados intermedios del proceso de generación del archivo ejecutable, así como los errores que pudieran surgir durante este proceso; para terminar activamos el ícono de cerrar la ventana.

El archivo ejecutable sólo se generará si no existen errores en la definición del sistema. Para corregir los errores usamos la información de la ventana anterior. Entonces editamos la parte errónea y volvemos a intentar la generación del ejecutable (sólo detectará errores en las ecuaciones diferenciales, parámetros del sistema o funciones auxiliares).

## 5. ATENCIÓN A USUARIOS

### 5.1. Solicitud de Nuevas Funciones

Si desea que se genere alguna versión con características distintas a las actuales pero dentro de los lineamientos del programa, solicítela especificando clara y detalladamente las nuevas características a la cuenta de correo electrónico que se indica en el punto siguiente.

### 5.2. "Sistemateca"

Estamos creando una biblioteca de sistemas dinámicos con descripción y comentarios de los usuarios para que sea accesada por internet y una lista de usuarios para mantenerlos actualizados en rubros como software y manuales. Por favor envíe por correo electrónico el documento indicado, para poderlo incluir en nuestras listas y proveerle el nombre de la cuenta de FTP en la cual se encuentra el paquete *INTEGRA DOS/C++ .1*. Este paquete *no tienen costo alguno* para los usuarios.

### 5.3. MAYORES INFORMES

Para mayor información sobre *INTEGRA DOS/C++ .1* comuníquese a:

Laboratorio de Dinámica no Lineal  
Departamento de Matemáticas  
Facultad de Ciencias, U.N.A.M.  
México, D.F., C.P. 04510.  
Teléfono: (015) 622-48-70  
Fax: (015) 622-48-59  
E-mail: [dinamica@athena.fciencias.unam.mx](mailto:dinamica@athena.fciencias.unam.mx)  
Página: <http://www.fciencias.unam.mx/DinamicaNoLineal>  
Autores: Humberto Carrillo Calvet  
Antonio Carrillo Ledesma  
Luis Alonso Nava Fernández  
Registro No. 16234 Derecho de Autor, SEP. 1994-1997  
México D.F. Ciudad Universitaria.