

## 1. Introducción

Los sistemas dinámicos que analiza el programa Integrate and Fire son llamados sistemas diferenciales de *Integración y Disparo* y aparecen en una amplia variedad de campos de la ciencia, desde la física e ingeniería hasta la biología, la economía y las ciencias cognitivas. Algunos sistemas que se pueden considerar como sistemas de Integración y Disparo son:

- Circuitos eléctricos con resistencia negativa
- Neuronas marcapaso
- Arritmias cardíacas
- Crisis bursátiles o económicas

Estos sistemas son caracterizados por la presencia de alguna *variable de estado*,  $u(t)$ , que representa la acumulación de la carga del sistema (*proceso de integración*) y de algún mecanismo que provoca rápidamente su descarga (*disparo*) cuando ésta alcanza un *umbral de disparo* (normalizado)  $u=1$ . Esta descarga implica la *relajación* de la variable de estado a un (también normalizado) *valor de reposo*  $u=0$ . Las series de tiempos en que suceden las descargas son llamadas *secuencias o sucesiones de tiempos de disparos*.

Van der Pol enfatizó la importancia de este fenómeno, al cual le llamó "*oscilaciones de relajación*". Un asunto de amplio interés entre científicos e ingenieros ha sido el estudio de estos osciladores, y su respuesta a forzamientos, particularmente periódicos, en los que interesa conocer las propiedades de sincronización. Desafortunadamente los modelos de

## *Integrate and Fire*

osciladores forzados de relajación suelen tener un alto grado de complejidad.

Una simplificación significativa para su estudio se obtiene cuando consideramos que el proceso relativamente rápido de la relajación ocurre instantáneamente. Bajo esta suposición, la variable de estado  $u(t)$  del oscilador forzado se modela con una ecuación diferencial de la forma

$$\frac{du}{dt} = F(t, \lambda, u)$$

con  $\lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$  un vector de parámetros, que describe el proceso de integración y una condición de disparo: cuando  $u(t)$  alcanza el *umbral de disparo*  $u \equiv 1$  en el tiempo  $t_n$ , llamado tiempo de disparo, el sistema realiza un salto (un cambio discontinuo) que asigna a la magnitud  $u(t)$  su valor de reposo  $u \equiv 0$ . La función que da los tiempos de disparo se conoce como *función de disparo* del oscilador.

Si el lado derecho de la ecuación diferencial es periódico en  $t$ , entonces la función de disparo resulta ser el levantamiento de una función de la circunferencia en si misma, la función de *fases de disparo*, y las propiedades de sincronización se revelan en la existencia de atractores periódicos del sistema dinámico subyacente, generado por la función de fases de disparo.

¿Qué es **Integrate and Fire**?

Generalmente es complicado obtener los comportamientos cualitativos en la dinámica de estos sistemas usando solamente métodos analíticos. Por ello es de utilidad contar con

## *Integrate and Fire*

programas que permitan simular y visualizar el comportamiento asintótico de la respuesta de un oscilador a forzamientos, así como los cambios de la dinámica del sistema en función de los valores de sus parámetros.

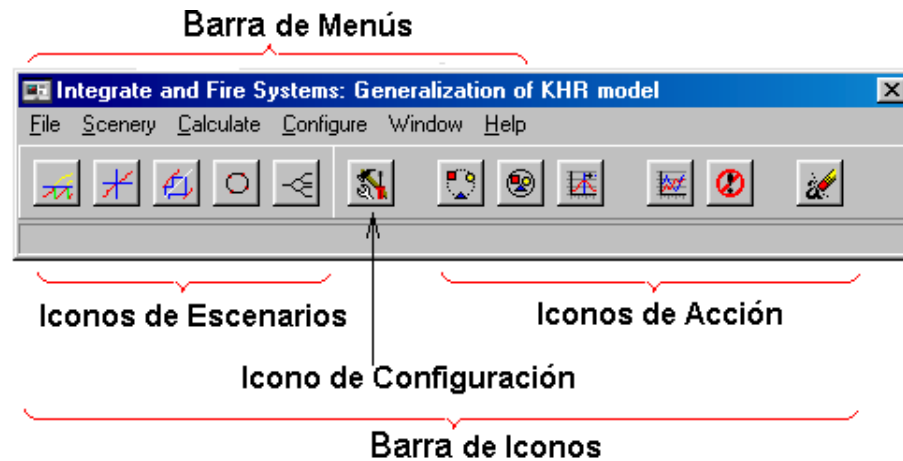
Por ejemplo con **Integrate and Fire** es posible:

- Hacer el cálculo y el trazado de las curvas integrales de la ecuación diferencial, con lo que se pueden analizar las propiedades de estas soluciones y la posible existencia de atractores periódicos en el plano.
- Hacer el cálculo y visualización de las iteraciones de las funciones de disparo y de fases de disparo en el plano, en la circunferencia, en el toro, así como diagramas de bifurcaciones.
- Calcular números de rotación, exponentes de Lyapunov y sincronizaciones de la función de fases de disparo.

## 2. Descripción Panorámica de Integrate and Fire

### Ventana Maestra

Al iniciar el programa **Integrate and Fire**, aparece la Ventana Maestra, la cual se compone de varias partes principales:



Mediante los iconos de escenarios se abren los escenarios gráficos.

### Iconos de los Escenarios Gráficos

**Integrate and Fire** ofrece la opción de trabajar en distintos escenarios gráficos de trabajo, todos los cuales pueden ser activados desde la Ventana Maestra del programa accionando el icono que tienen asignado en la barra de iconos de escenarios.

## *Integrate and Fire*

Estos iconos se identifican con los siguientes nombres:

**Integral Curves Scenery**

**Lifts Scenery**

**Torus Scenery**

**Circle Scenery**

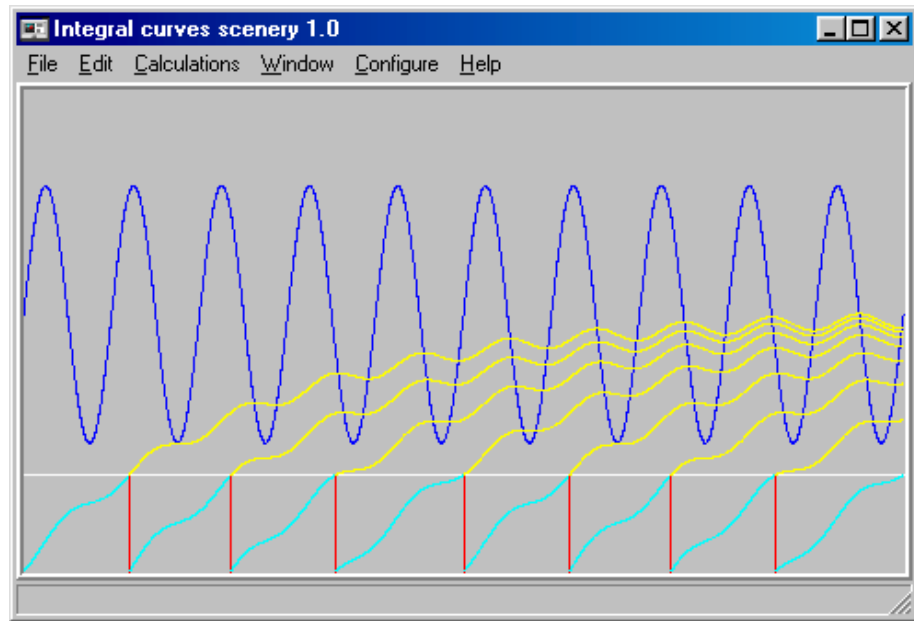
**Bifurcations Scenery**



Cada uno de los cinco módulos o escenarios gráficos antes mencionados tiene asociado un tipo característico de gráfica, con la cual es posible analizar la dinámica del modelo desde un punto de vista diferente al de los demás escenarios.

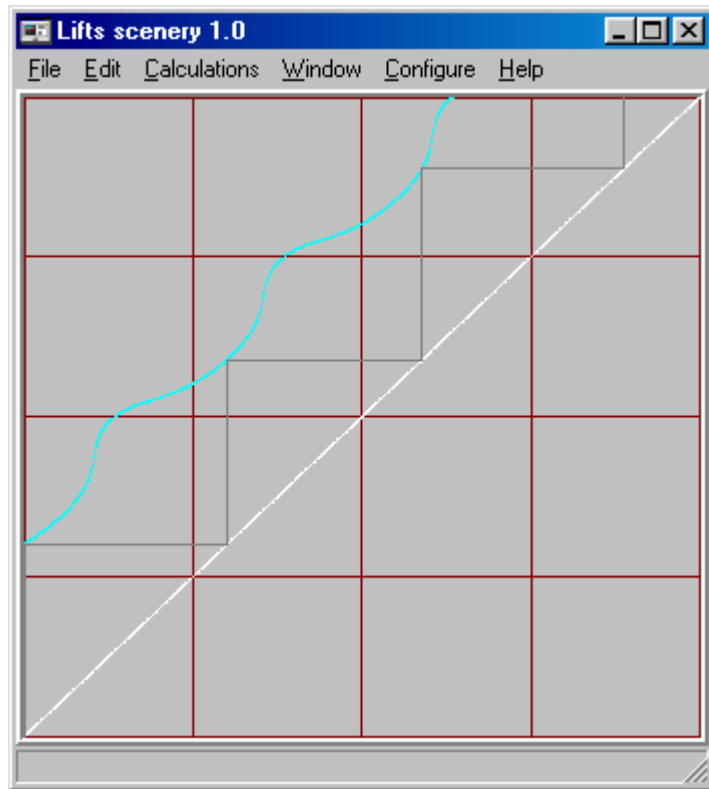
A continuación mostraremos imágenes típicas de cada uno de estos escenarios:

## Integral Curves Scenery



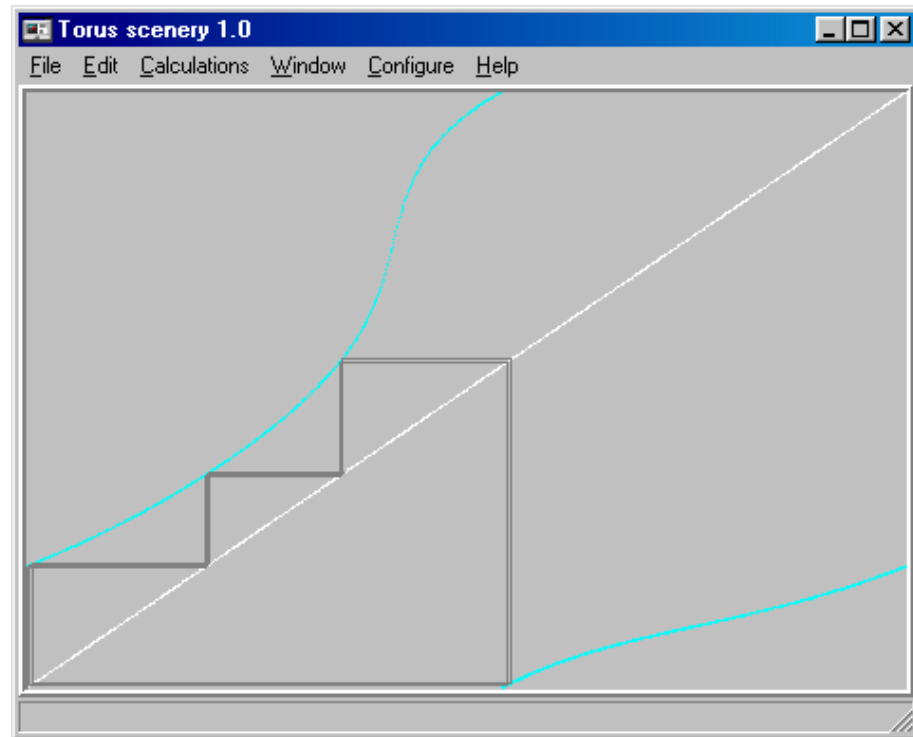
Se visualizan las curvas integrales de la ecuación diferencial de uno de los modelos diferenciales de neuronas de integración y disparo (el modelo de KHR).

## Lifts Scenery



Se traza la gráfica de los levantamientos asociados a la función de la circunferencia generada por los osciladores forzados periódicamente (función de fases de disparo).

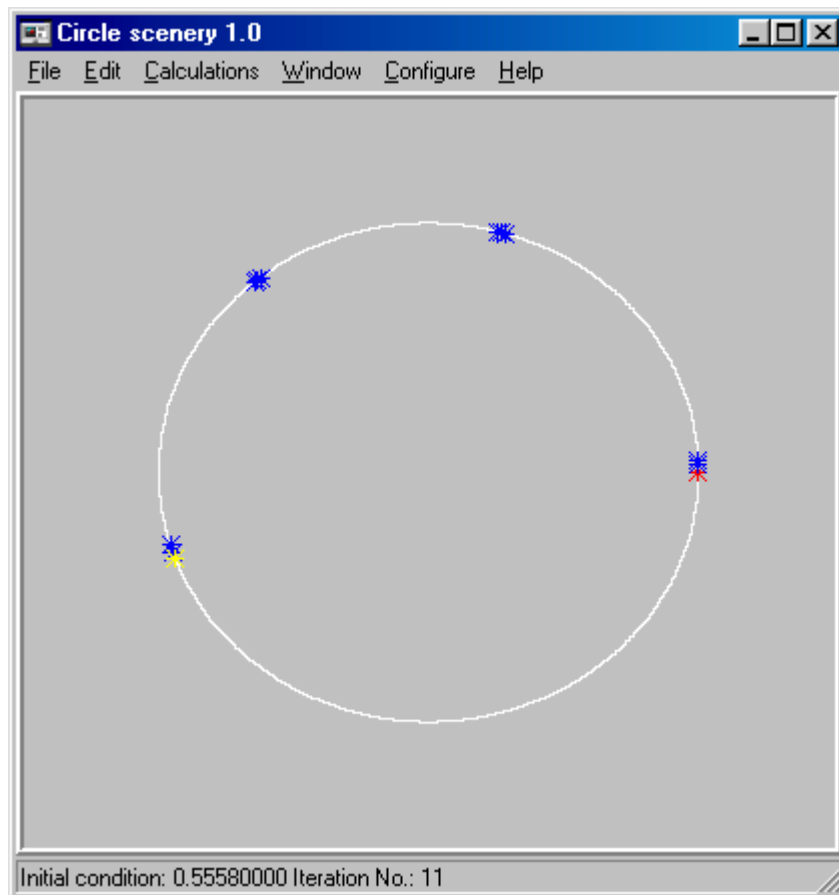
## Torus Scenery



Muestra la gráfica de la función de fases de disparo en el espacio llamado "toro plano".

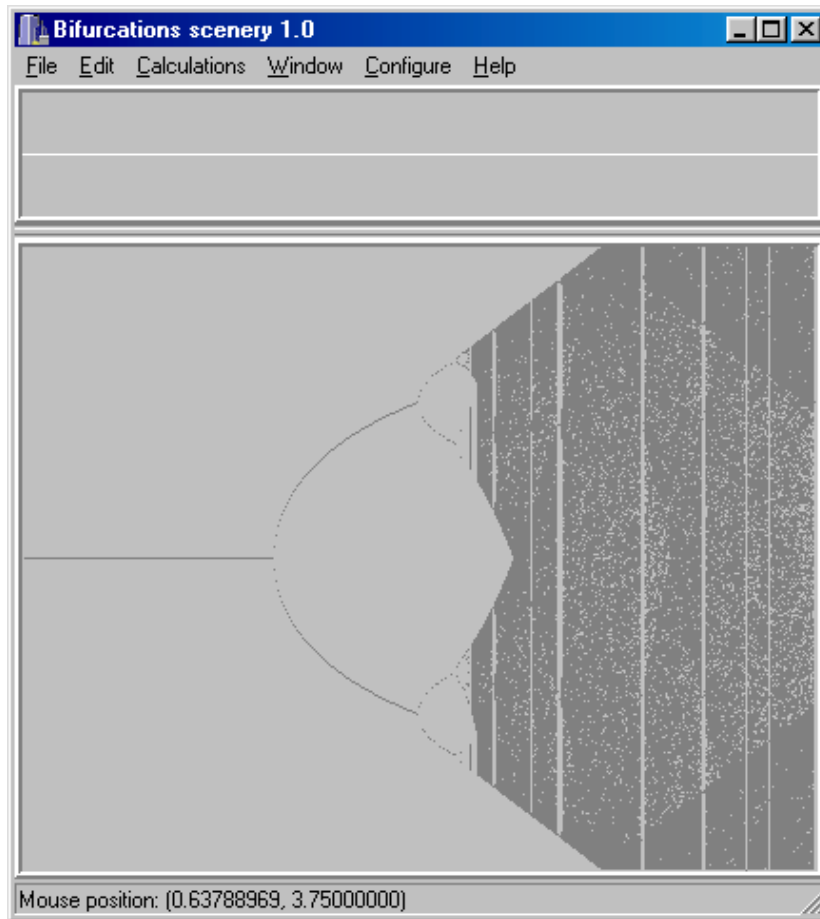


## Circle Scenery



Muestra las iteraciones, en la circunferencia, de la función de fases de disparo.

## Bifurcations Scenery



En la parte inferior de este escenario se traza el diagrama de bifurcaciones y en la parte superior se grafica el exponente de Lyapunov, correspondientes a los valores en turno de los parámetros

### 3. Descripción Detallada de la Ventana Maestra

A continuación se describen las funciones de la Ventana Maestra



Al iniciar el programa **Integrate and Fire** se presenta la Ventana Maestra. Desde ésta se activan los escenarios gráficos y contiene dos barras:

**Barra de Iconos**  
**Barra de Menús**

#### 3.1. Barra de Iconos

La Barra de Iconos contiene tres tipos de iconos:

**Iconos de Escenarios**  
**Iconos de Acción**  
**Icono de Configuración**

### 3.1.1. Iconos de Escenarios



Al accionar estos iconos con el mouse, cada uno abrirá una ventana con un escenario distinto, el cual funcionará con los valores de configuración asignados en la Ventana Maestra. Los iconos que pertenecen a este conjunto son:

Icono **Integral Curves Scenery:**



Abre una ventana con el escenario de curvas integrales.

Icono **Lifts Scenery:**



Abre una ventana con el escenario de levantamientos.

Icono **Torus Scenery:**



Abre una ventana con el escenario del toro en el plano.

Icono **Circle Scenery:**



Abre una ventana con el escenario de la circunferencia.

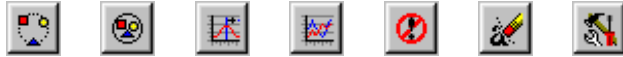
Icono **Bifurcations Scenery:**



Abre una ventana con el escenario de bifurcaciones.

Más adelante se dará una explicación detallada de cada uno de estos escenarios.

### 3.1.2. Iconos de Acción



Al accionar estos iconos con el mouse, cada uno ejecutará una acción distinta, la cual funcionará con los valores de configuración asignados en la Ventana Maestra. Los iconos que pertenecen a este conjunto son:

Icono **Rotation Number**.



Calcula el número de rotación con los parámetros en turno. Muestra el resultado en una caja.

Icono **Synchronization**.



Calcula la sincronización con los parámetros en turno. Muestra los resultados en una caja.

Icono **Lyapunov Exponent**.



Calcula el exponente de Lyapunov con los valores en turno de los parámetros. Muestra el resultado en una caja.

Icono **Start Calculations.**



Comienza el cálculo o las iteraciones de la última ventana activa.

Icono **Stop Calculations.**



Detiene el cálculo o las iteraciones de la última ventana activa.

Icono **Erase Scenery Window.**



Limpia la última ventana activa.

**3.1.3. Icono de Configuración**



Al accionar este icono con el mouse, se abrirá una caja de diálogo, la cual permite cambiar los valores de configuración asignados en la Ventana Maestra.

**3.2. Barra de Menús**

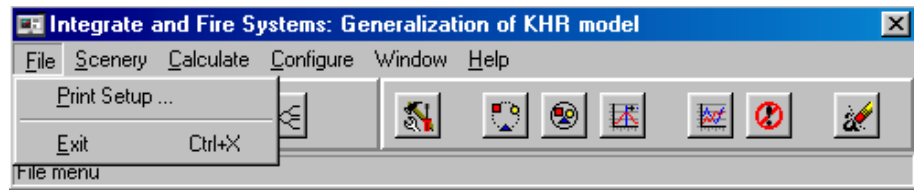
Este se compone de varios menús:

- Menú **File**
- Menú **Scenery**
- Menú **Calculate**
- Menú **Configure**
- Menú **Window**
- Menú **Help**

## *Integrate and Fire*

Contiene opciones que sean escogidas en estos menús serán aplicadas en todos las ventanas que abra el programa sin importar el tipo de escenario que esta incluya.

### 3.2.1. Menú File:

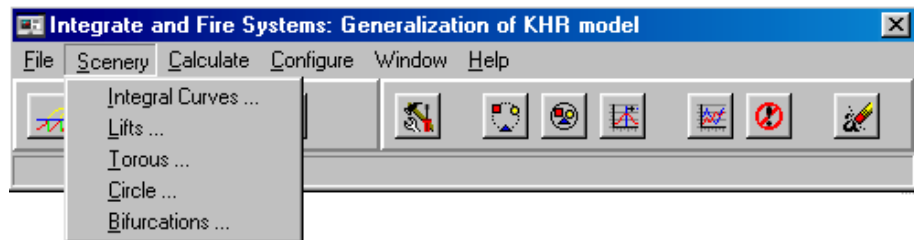


Este menú tiene las opciones:

**Print Setup:** Permite configurar la impresión de las imágenes de todos los escenarios gráficos.

**Exit Ctrl-X:** El programa **Integrate and Fire** se cerrará al aplicar esta opción. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y X.

### 3.2.2 Menú Scenery



Este menú abarca las mismas opciones que la barra de iconos de los escenarios. Cada una de sus opciones abre una ventana con un escenario gráfico diferente:

**Integral Curves:** Ofrece el escenario gráfico *Integral Curves Scenery*.

**Lifts:** Abre una ventana que muestra el escenario gráfico *Lifts Scenery*.

**Torus:** Muestra una ventana con el escenario gráfico *Torus Scenery*.

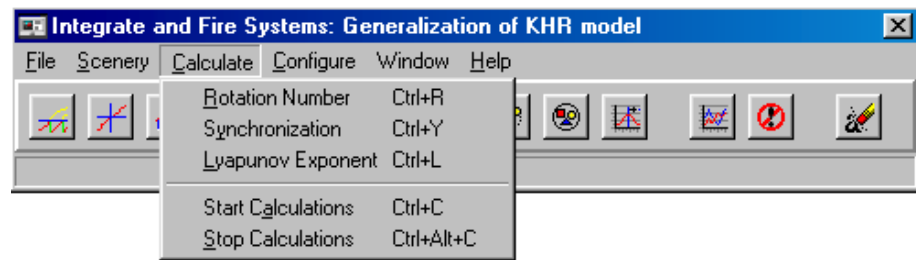
**Circle:** Muestra el escenario gráfico *Circle Scenery* en una ventana.

**Bifurcations:** Muestra el escenario gráfico *Bifurcations Scenery*.



### 3.2.3 Menú Calculate

Realiza cálculos con los valores de los parámetros que se encuentren en la ventana activa.



**Rotation Number:** Calcula el número de rotación con los valores de los parámetros en turno. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y R.



**Synchronization:** Calcula la sincronización con los valores de los parámetros en turno. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y Y.



**Lyapunov Exponent:** Calcula el número de Lyapunov con los valores de los parámetros en turno. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y L.

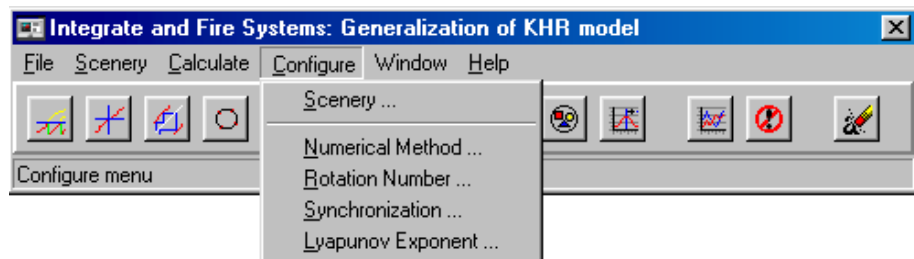


**Start Calculations:** Comienza las iteraciones en la ventana activa. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y C.

**Stop calculations:** Detiene las iteraciones en la ventana activa. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl, Alt y C.

### 3.2.4. Menú Configure

Aquí se realizan configuraciones globales, es decir, que aplican en todos los escenarios. Este menú tiene las siguientes opciones:



**Scenery:** Muestra una caja de diálogo con las opciones para configurar el escenario gráfico activo.

**Numerical Method:** Permite configurar el método numérico que será empleado para calcular las soluciones de la ecuación diferencial que genera el sistema dinámico en la circunferencia. Esta opción presenta la siguiente caja de diálogo:



**Numerical Method:** El usuario puede seleccionar el método numérico que le parezca más adecuado de entre una lista de métodos disponibles en el programa para resolver la ecuación diferencial.

**Integration Step:** Selecciona la longitud de paso para ser empleada en el método numérico para resolver la ecuación diferencial.

**Maximum Firing Time:** Cota para la longitud máxima del intervalo durante el cual se efectuará el cálculo de las soluciones de una ecuación integral antes de que se efectúe un disparo.

**Rotation Number:** Muestra las opciones para configurar el cálculo del número de rotación:



**N:** Número de iteraciones para calcular el número de rotación.

**Random Initial Condition:** Este es un botón que en caso de estar activado hace que el programa elija una condición inicial aleatoria cada vez que se calcule el número de rotación. En caso de que esta opción esté desactivada, hay un valor asignado por omisión, pero que el usuario puede editar. En este último caso, esa condición será utilizada para los cálculos posteriores.

**Initial Condition:** Esta es una caja de lectura de datos que permite seleccionar un número real entre 0 y 1, que se usará para hacer los cálculos posteriores como condición inicial en caso de que la opción *Random Initial Condition* esté desactivada.

**Synchronization:** Muestra las opciones para configurar el cálculo de sincronizaciones:



**Transient Length:** Permite elegir el número de iteraciones o transitorio que será efectuado antes de comenzar a buscar una órbita periódica atractora en la circunferencia.

**Maximum Period:** Asigna el período máximo o el número máximo de iteraciones, por ciclo, para encontrar una órbita periódica en la circunferencia.

**Maximum Number of Cycles:** Asigna el número máximo de intentos o ciclos para localizar una órbita periódica en la circunferencia.

**Tolerance:** Asigna la tolerancia para concluir que una semiórbita converge o está suficientemente cercana a alguna órbita periódica en la circunferencia.

**Random Initial Condition:** Este es un botón que en caso de estar activado hace que el programa elija una condición inicial aleatoria en la circunferencia cada vez que se calcule la sincronización. En caso de que esta opción esté desactivada, hay un valor asignado por omisión, pero que el usuario puede editar. En este último caso, esa condición será utilizada para los cálculos posteriores.

**Initial Condition:** Esta es una caja de lectura de datos que permite seleccionar un número real entre 0 y 1, que se usará siempre como condición inicial en la circunferencia en caso de que la opción *Random Initial Condition* esté desactivada.

**Lyapunov Number:** Muestra las opciones para configurar el cálculo de los exponentes de Lyapunov:



**Minimum Number of Iterations:** Mínimo número de iteraciones para calcular el exponente de Lyapunov.

**Maximum Number of Iterations:** Máximo número de iteraciones para calcular el exponente de Lyapunov.

**Epsilon:** Número asignado para detectar la convergencia al número de Lyapunov, mediante el criterio de que el valor absoluto de la diferencia entre dos sumas parciales consecutivas sea muy pequeño.

**Random Initial Condition:** Este es un botón que en caso de estar activado hace que el programa elija una condición inicial aleatoria en la circunferencia cada vez que se calcule el exponente de Lyapunov. En caso de que esta opción esté desactivada, hay un valor asignado por omisión, pero que el usuario puede editar. En este último caso, esa condición será utilizada para los cálculos posteriores.

**Initial Condition:** Caja de lectura de datos que permite seleccionar un número real entre 0 y 1, que se usará siempre como condición inicial en la circunferencia en caso de que la opción *Random Initial Condition* esté desactivada.

### 3.2.5. Menú Window

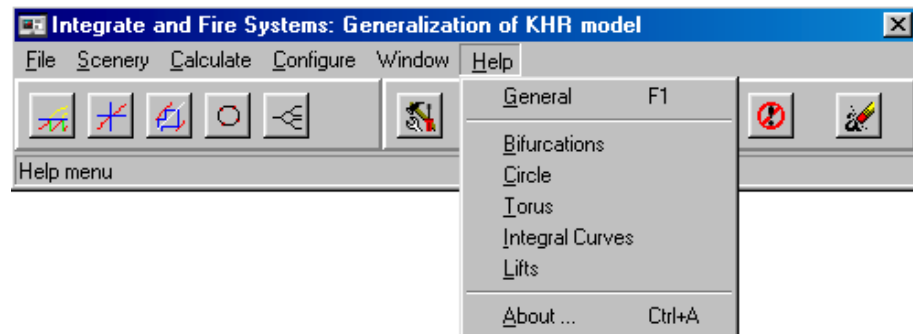


Presenta una única opción:

**Erase Scenery Ctrl+E:** Limpia la ventana del escenario gráfico activo. Se logra el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y E.



### 3.2.6. Menú Help



Permite seleccionar el tema de ayuda. Los temas se describen a continuación:

**General F1:** Presenta la pantalla de ayuda general del programa **Integrate and Fire**. Se logra el mismo efecto presionando la tecla F1.

**Bifurcations:** Presenta una pantalla que describe el escenario de bifurcaciones.

**Circle:** Presenta una pantalla que describe el escenario de la circunferencia.

**Torus:** Presenta una pantalla que describe el escenario del toro plano.

**Integral Curves:** Presenta una pantalla que describe el escenario de las curvas integrales de la ecuación diferencial.

## *Integrate and Fire*

**Lifts:** Muestra una pantalla que describe el escenario de los levantamientos.

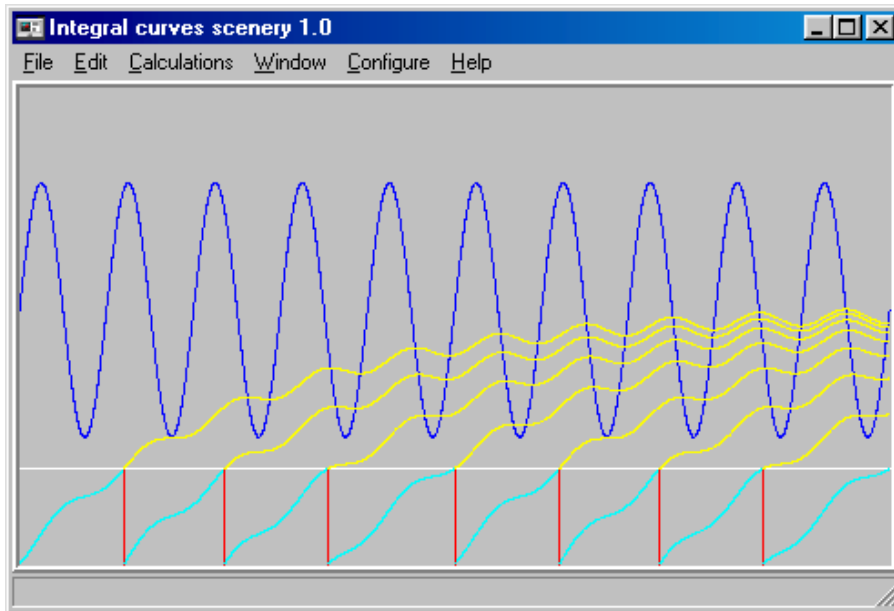
**About:** Presenta una pantalla con información acerca de los autores del programa. Se logra el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y A.



## 4. Descripción Detallada de los Escenarios Gráficos

Las ventanas de cada escenario gráfico tienen solamente una barra de menús. Los menús de esta barra contienen funciones específicas al escenario en cuestión.

### 4.1. Integral Curves Scenery

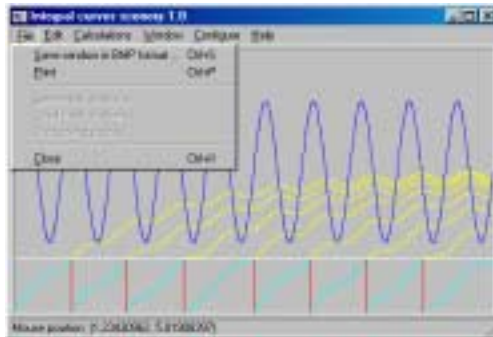


Desde este escenario gráfico se puede analizar la dinámica del sistema mediante el estudio de las curvas integrales de la ecuación diferencial. El control de las acciones de este escenario es por medio de un conjunto de menús:

**Conjunto de Menús:** Los cambios en la configuración de este escenario se hacen mediante los menús:

Menú **File**  
Menú **Edit**  
Menú **Calculations**  
Menú **Window**  
Menú **Configure**  
Menú **Help**

#### 4.1.1. Menú File



Permite guardar e imprimir imágenes y configuración. Las opciones de este menú son:

**Save Window in BMP Format Ctrl-G:** Permite salvar la imagen trazada dentro de la ventana en un archivo de gráficos en formato BMP. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y G.

**Print Ctrl-I:** Manda a impresión la imagen trazada dentro de la ventana de este escenario gráfico. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl e I.

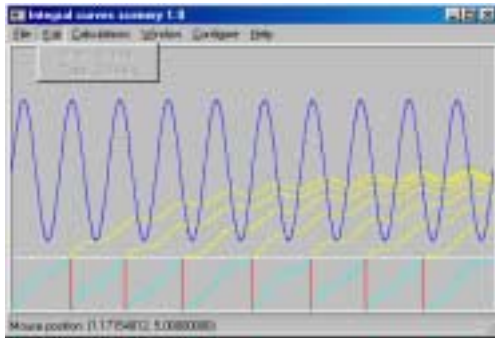
**Save Configurations:** Graba en un archivo los datos necesarios para volver a trazar los cálculos realizados.

**Load Configurations:** Lee de un archivo los datos necesarios para volver a trazar los cálculos realizados.

**Print Configurations:** Imprime los valores de los parámetros y la configuración actual de la ventana.

**Close Ctrl-X:** Cierra el escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y X.

#### 4.1.2. Menú Edit



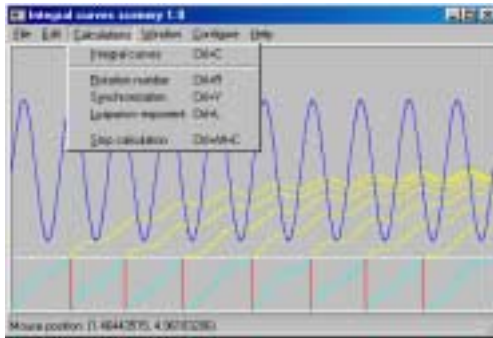
Se usa para la transferencia de valores de parámetros entre dos o más ventanas de escenarios gráficos.

**Copy Ctrl-C:** Permite copiar los valores de los parámetros para almacenarlos en un buffer de memoria. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y C.

**Paste Ctrl-V:** Transfiere los valores de los parámetros almacenados en el buffer para hacer cálculos en la ventana de

escenarios gráficos activa. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y V.

#### 4.1.3. Menú Calculations



Con este menú se pueden realizar los diferentes cálculos que nos permiten analizar la dinámica del sistema en este escenario gráfico. Es posible calcular:

**Integral Curves:** Traza las curvas integrales de la ecuación diferencial usando los valores de los parámetros actuales en este escenario, así como diversas curvas que sirven para analizar el comportamiento cualitativo del sistema. Estas curvas auxiliares son el umbral de disparos, la curva de extremos o puntos críticos de las soluciones y los tiempos de disparos. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y C.

**Rotation Number:** Calcula el número de rotación de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y R.



**Synchronization:** Calcula la sincronización de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y Y.



**Lyapunov Exponent:** Calcula el exponente de Lyapunov de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y L.

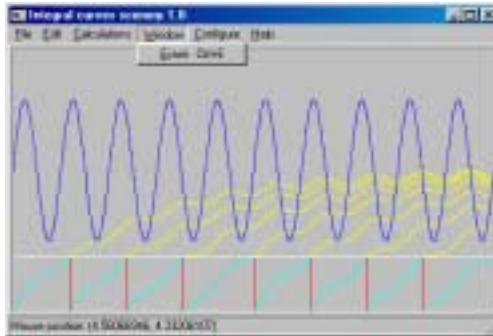


**Stop Calculation Ctrl+Alt+C:** Detiene los cálculos. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl, Alt y C.

## *Integrate and Fire*

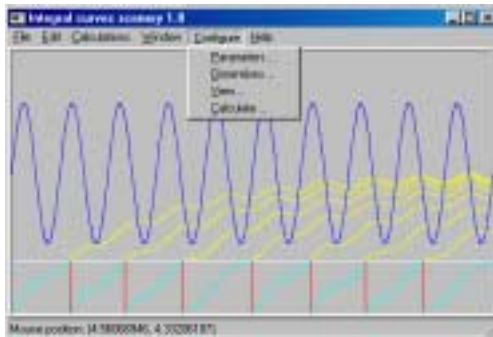
### 4.1.4. Menú Window

Este menú tiene una única opción:



**Erase Ctrl+E:** Limpia la ventana del escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y E.

### 4.1.5. Menú Configure

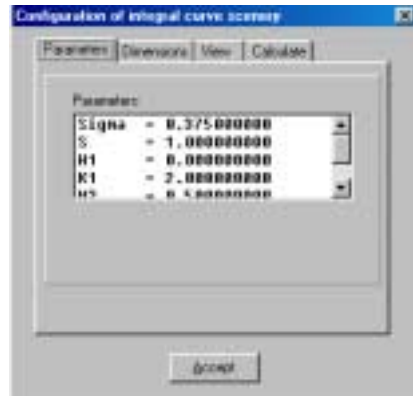


Este menú permite configurar los valores de los parámetros del sistema, así como los valores para realizar un gráfico en este escenario.



## *Integrate and Fire*

**Parameters:** Permite modificar los parámetros del modelo y los valores para seleccionar un rango y un dominio donde sea visualizada la dinámica del sistema en este escenario.



**Dimensions:** Permite editar los valores de los parámetros del sistema en este escenario.



**Horizontal:** Configura las dimensiones reales en el eje horizontal de la región donde se analiza el comportamiento de las curvas integrales.

**Maximum:** Máximo valor del dominio de las curvas integrales.

**Minimum:** Mínimo valor del dominio de las curvas integrales.

**Vertical:** Configura las dimensiones reales en el eje vertical de la región donde se analiza el comportamiento de las curvas integrales.

**Maximum:** Máximo valor del rango de las curvas integrales.

**Minimum:** Mínimo valor del rango de las curvas integrales.

**View:** Permite seleccionar de entre las siguientes curvas propias de este escenario las que se deseen trazar, así como configurar el color en que serán trazadas. Estas curvas son:



**Integral Curve:** Soluciones de la ecuación diferencial, antes de que estas alcancen el umbral de disparos.

**Continuation of Integral Curve:** Soluciones de la ecuación diferencial, después de que estas hayan alcanzado el umbral de disparos.

**Vertical Lines:** Son las líneas verticales que marcan cada tiempo de disparo.

**Extremes Curve:** Es la curva donde son alcanzados todos los puntos críticos (los máximos, mínimos o puntos de inflexión) de las soluciones de la ecuación diferencial del sistema.

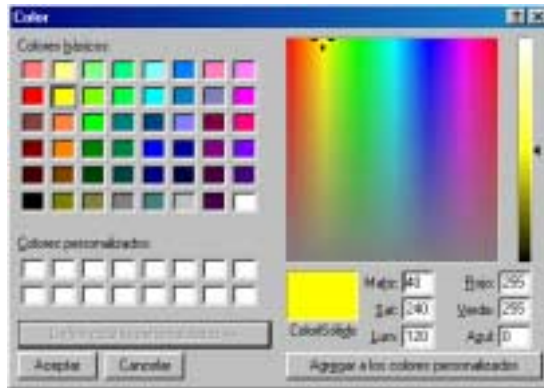
**Threshold Line:** Es el umbral de disparos. Está normalizado a 1.

**Background:** Se refiere al color del fondo de la ventana.

Cualquiera de estas curvas será trazada si, en la caja de diálogo que aparece al activar la opción *View*, el botón que aparece del lado izquierdo del nombre de cada una de estas curvas es seleccionado.

## *Integrate and Fire*

Los colores con que serán trazadas se eligen activando el botón *Color* que aparece del lado derecho del nombre de cada curva, con lo que aparece la paleta de colores que es estándar en el sistema operativo Windows.



**Calculate:** Configura las condiciones iniciales y la dirección de integración para obtener las sucesiones de tiempos de disparos del sistema.



## *Integrate and Fire*

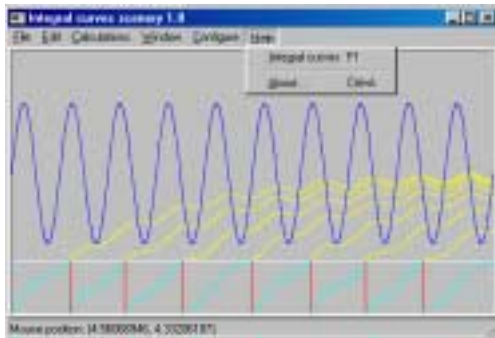
**Initial Condition:** Selecciona la condición inicial a partir de la cual serán calculadas las curvas integrales y la sucesión de tiempos de disparos.

**Integration Type:** Presenta opciones para calcular la dirección de la dinámica:

**Forward:** Permite analizar la dinámica directa o la evolución del sistema en la dirección positiva del tiempo.

**Backward:** Permite analizar la dinámica inversa o la evolución del sistema en la dirección negativa del tiempo.

### 4.1.6. Menú Help



Este menú contiene opciones de ayuda para el escenario gráfico e información acerca del programa **Integrate and Fire**. Las opciones son:

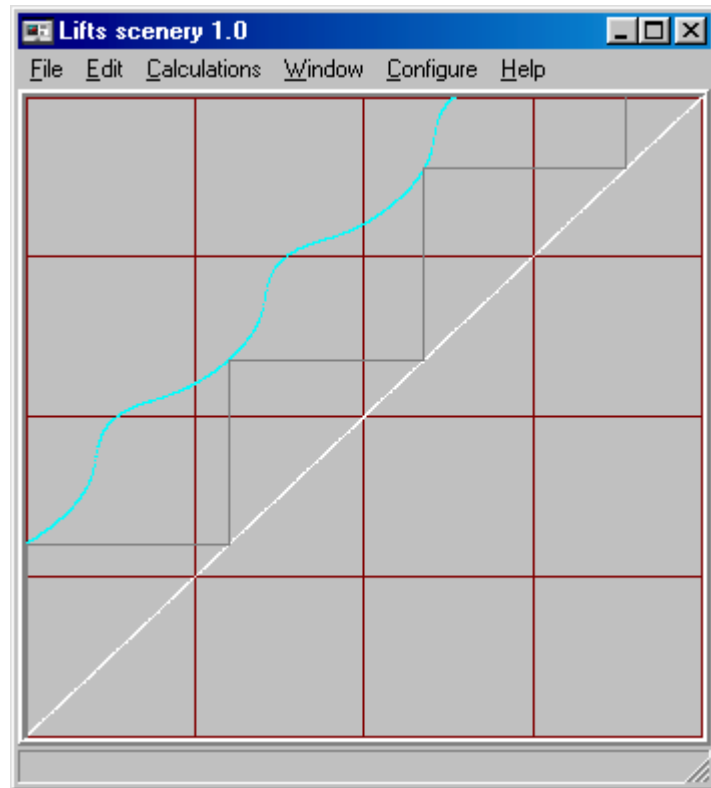
**Integral Curves F1:** Presenta una pantalla con la ayuda para manejar el escenario gráfico de las Curvas Integrales. Se logra el mismo efecto si se presiona la tecla F1.

## *Integrate and Fire*

**About:** Presenta una pantalla con información acerca de los autores del programa **Integrate and Fire**.



## 4.2. Lifts Scenery



Desde este escenario gráfico se puede analizar la dinámica del sistema mediante estudio de los levantamientos de las funciones en la circunferencia generadas por los disparos de las curvas integrales de la ecuación diferencial. El control de las acciones de este escenario es mediante un conjunto de menús cuyas opciones se describen en seguida:





**Print Ctrl-I:** Manda a impresión la imagen trazada dentro de la ventana de este escenario gráfico. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl e I.

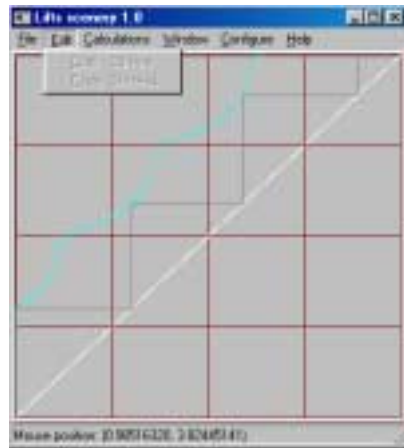
**Save Configurations:** Graba en un archivo los datos necesarios para volver a trazar los cálculos realizados.

**Load Configurations:** Lee de un archivo los datos necesarios para volver a trazar los cálculos realizados.

**Print Configurations:** Imprime los valores de los parámetros y la configuración actual de la ventana.

**Close Ctrl-X:** Cierra el escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y X.

### 3.3.2. Menú Edit



Se usa para la transferencia de valores de parámetros entre dos o más ventanas de escenarios gráficos.

**Copy Ctrl-C:** Permite copiar los valores de los parámetros para almacenarlos en un buffer de memoria. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y C.

**Paste Ctrl-V:** Transfiere los valores de los parámetros almacenados en el buffer para hacer cálculos en la ventana de escenarios gráficos activa. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y V.

### 3.3.3. Menú Calculations



Con este menú se pueden realizar los diferentes cálculos que nos permiten analizar la dinámica del sistema en este escenario gráfico. Es posible calcular:

**Graph:** Traza en el plano los levantamientos de las funciones de fases de disparos en la circunferencia generadas por los disparos de las soluciones de la ecuación diferencial al llegar al umbral de disparos, usando los valores de los parámetros

actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y G.

**Iterations:** Traza la sucesión de tiempos de disparos a partir de alguna condición inicial elegida por el usuario, utilizando como auxiliar la gráfica de la función identidad. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl e I.

**Rotation Number:** Calcula el número de rotación de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y R.



**Synchronization:** Calcula la sincronización de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl e Y.

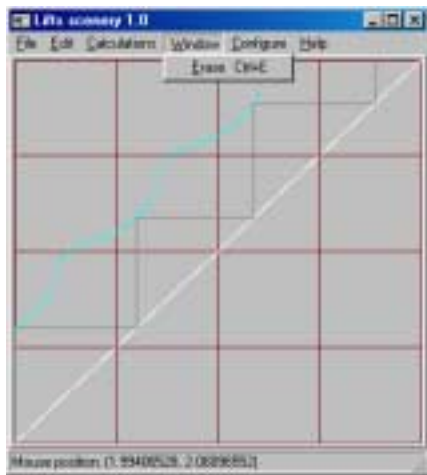


**Lyapunov Exponent:** Calcula el exponente de Lyapunov de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y L.



**Stop Calculation Ctrl+Alt+C:** Detiene los cálculos. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl, Alt y C.

#### 3.3.4. Menú Window



Este menú tiene una única opción:

**Erase:** Limpia la ventana del escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y E.

### 3.3.5. Menú Configure



Este menú permite configurar los valores de los parámetros del sistema, así como los valores para realizar un gráfico en este escenario.

**Parameters:** Permite editar los valores para seleccionar un rango y un dominio donde sea visualizada la dinámica del sistema en este escenario.



**Dimensions:** Permite editar los valores de los parámetros del sistema en este escenario.



**Horizontal:** Configura las dimensiones reales en el eje horizontal de la región donde se analiza el comportamiento de los levantamientos.

**Maximum:** Máximo valor del dominio de los levantamientos.

**Minimum:** Mínimo valor del dominio de los levantamientos.

**Vertical:** Configura las dimensiones reales en el eje vertical de la región donde se analiza el comportamiento de los levantamientos.

**Maximum:** Máximo valor del rango de los levantamientos.

**Minimum:** Mínimo valor del rango de los levantamientos.

## *Integrate and Fire*

**View:** Permite seleccionar de entre las siguientes curvas propias de este escenario las que se deseen trazar, así como configurar el color en que serán trazadas.



Estas curvas son:

**Lift Graph:** Gráfica del levantamiento de la función de disparos.

**Grid:** Malla auxiliar con coordenadas enteras que permite visualizar el grado de los levantamientos.

**Identity Graph:** Gráfica de la función identidad.

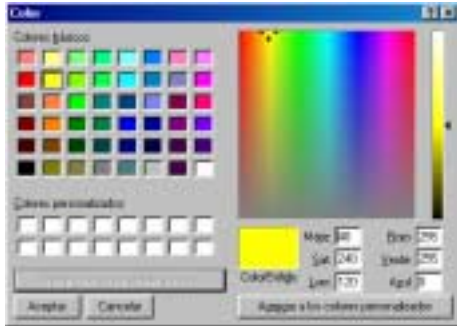
**Iterations:** Gráfico que indica la sucesiones de tiempos de disparos a partir de alguna condición dada por el usuario, reflejando las iteraciones de los levantamientos con la gráfica de la función identidad.

**Background:** Se refiere al color del fondo de la ventana.

Cualquiera de estas curvas y gráficos de referencia serán trazados si, en la caja de diálogo que aparece al activar la opción *View*, el botón que aparece del lado izquierdo del

## *Integrate and Fire*

nombre de cada una de estas curvas es seleccionado. Los colores con que serán trazadas se eligen activando el botón *Color* que aparece del lado derecho del nombre de cada curva, con lo que aparece una paleta de colores que es estándar en el sistema operativo Windows.



**Calculate:** Configura las condiciones iniciales y la dirección de integración para obtener las sucesiones de tiempos de disparos del sistema.



**Initial Condition:** Selecciona la condición inicial a partir de la cual serán calculadas los levantamientos y la sucesión de tiempos de disparos.



**Points to Draw:** Indica el número de puntos con que serán trazadas las gráficas de los levantamientos.

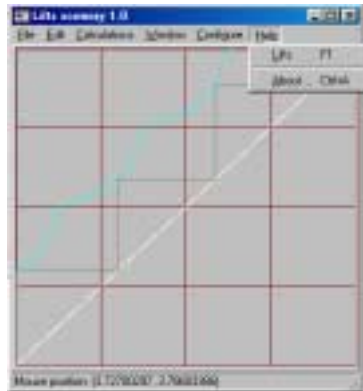
**Iteration Order:** Indica el orden de la iterada o cuantas veces se compone consigo misma la función del levantamiento para ser trazada.

**Integration Type:** Presenta opciones para calcular la dirección de la dinámica:

**Forward:** Permite analizar la dinámica directa o la evolución del sistema en la dirección positiva del tiempo.

**Backward:** Permite analizar la dinámica inversa o la evolución del sistema en la dirección negativa del tiempo.

### 3.3.6. Menú Help



Este menú contiene opciones de ayuda para el escenario gráfico e información acerca del programa **Integrate and Fire**. Las opciones son:

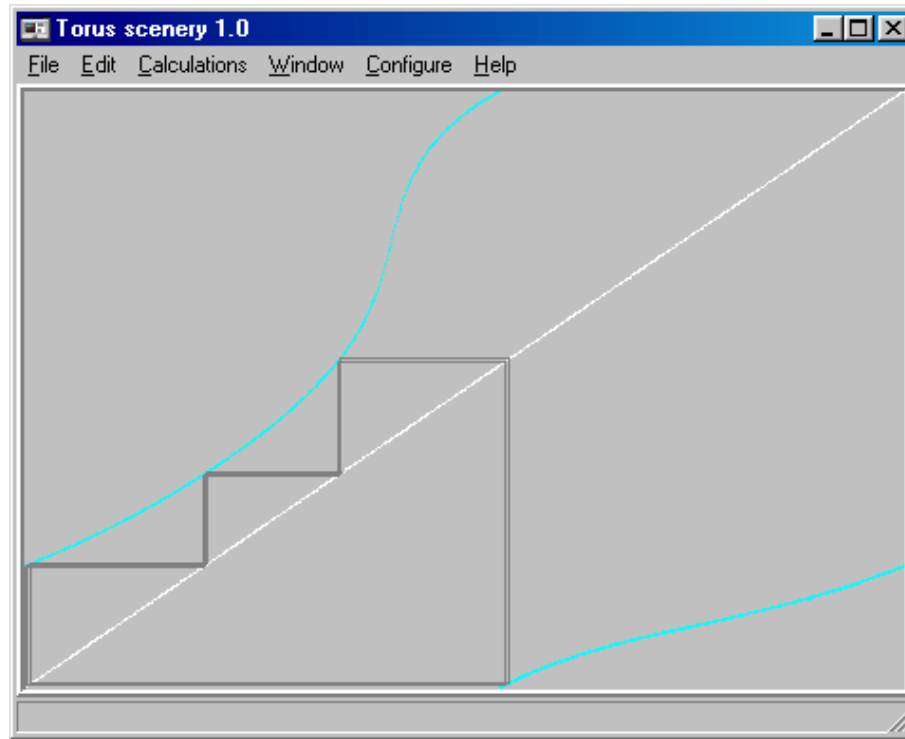
## *Integrate and Fire*

**Lifts:** Presenta una pantalla con la ayuda para manejar el escenario gráfico de los levantamientos en el plano. Se consigue el mismo efecto presionando la tecla F1.

**About:** Presenta una pantalla con información acerca de los autores del programa **Integrate and Fire**. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y A.



### 3.4. Torus Scenery



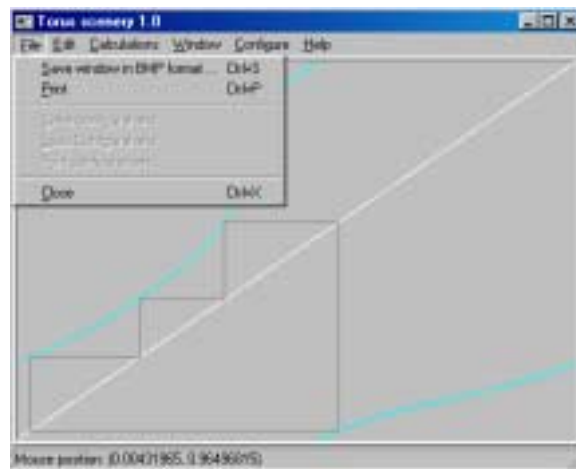
Desde este escenario gráfico se puede analizar la dinámica del sistema mediante estudio, en el toro plano, de las iteraciones de las funciones de fases de disparos generadas por las sucesiones de tiempos en que las soluciones de la ecuación diferencial llegan al umbral de disparos. El control de las acciones de este escenario es mediante un conjunto de menús cuyas opciones se describen en seguida:

**Conjunto de Menús:** Los cambios en la configuración de este escenario se hacen mediante varios menús.

Menú **File**  
Menú **Edit**  
Menú **Calculations**  
Menú **Window**  
Menú **Configure**  
Menú **Help**

A continuación estos son descritos.

### 3.4.1. Menú File



Permite guardar e imprimir imágenes y configuración. Las opciones de este menú son:

**Save Window in BMP Format Ctrl-G:** Permite salvar la imagen trazada dentro de la ventana en un archivo de gráficos

en el formato deseado por el usuario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y G.

**Print Ctrl-I:** Manda a impresión la imagen trazada dentro de la ventana de este escenario gráfico. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl e I.

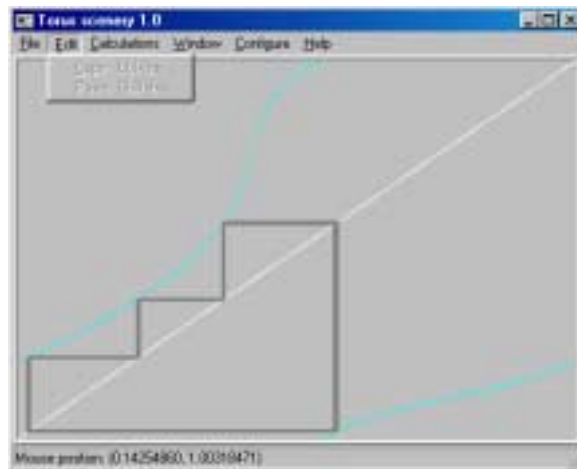
**Save Configurations:** Graba en un archivo los datos necesarios para volver a trazar los cálculos realizados.

**Load Configurations:** Lee de un archivo los datos necesarios para volver a trazar los cálculos realizados.

**Print Configurations:** Imprime los valores de los parámetros y la configuración actual de la ventana.

**Close Ctrl-X:** Cierra el escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y X.

### 3.4.2. Menú Edit



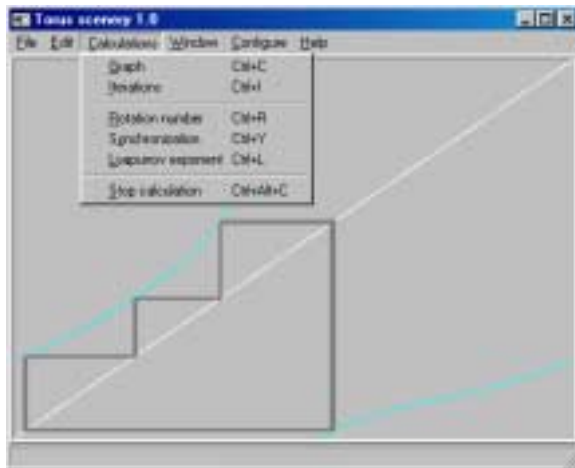
## *Integrate and Fire*

Se usa para la transferencia de valores de parámetros entre dos o más ventanas de escenarios gráficos.

**Copy Ctrl-C:** Permite copiar los valores de los parámetros para almacenarlos en un buffer de memoria. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y C.

**Paste Ctrl-V:** Transfiere los valores de los parámetros almacenados en el buffer para hacer cálculos en la ventana de escenarios gráficos activa. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y V.

### 3.4.3. Menú Calculations



Con este menú se pueden realizar los diferentes cálculos que nos permiten analizar la dinámica del sistema en este escenario gráfico. Es posible calcular:

**Graph:** Traza en el toro plano los levantamientos de las funciones de fases de disparos en la circunferencia generadas por las sucesiones de disparos de las soluciones de la ecuación diferencial al llegar al umbral de disparos, usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y G.

**Iterations:** Traza la sucesión de fases de disparos en el toro plano a partir de alguna condición inicial elegida por el usuario, utilizando como auxiliar la gráfica de la función identidad. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl e I.

**Rotation Number:** Calcula el número de rotación de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y R.



**Synchronization:** Calcula la sincronización de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y Y.

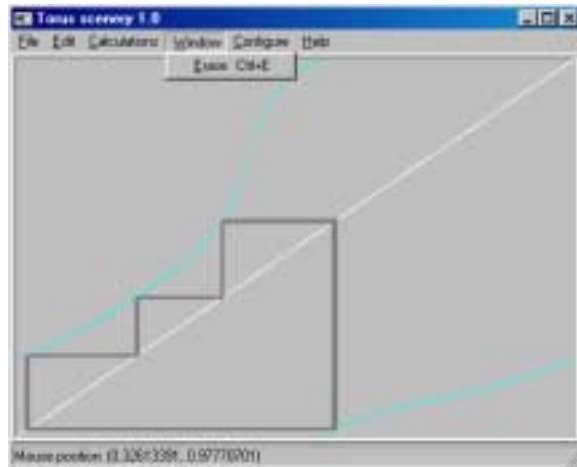


**Lyapunov Exponent:** Calcula el exponente de Lyapunov de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y L.



**Stop Calculation Ctrl+Alt+C:** Detiene los cálculos. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl, Alt y C.

#### 3.4.4. Menú Window

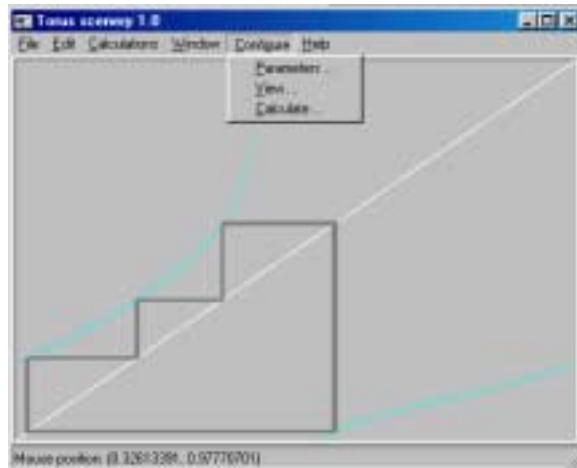


Este menú tiene una única opción:

**Erase:** Limpia la ventana del escenario.



### 3.4.5. Menú Configure



Este menú permite configurar los valores de los parámetros del sistema, así como los valores para realizar un gráfico en este escenario.

**Parameters:** Permite editar los valores para seleccionar un rango y un dominio donde sea visualizada la dinámica del sistema en este escenario.



**View:** Permite seleccionar de entre las siguientes curvas propias de este escenario las que se deseen trazar, así como configurar el color en que serán trazadas. Estas curvas son:



**Identity Graph:** Gráfica de la función identidad.

**Circle Map Graph:** Gráfica de la función de fases disparos en el toro plano.

**Iterations:** Gráfico que indica la sucesiones de tiempos de disparos a partir de alguna condición dada por el usuario, reflejando las iteraciones de la función de fases disparos en el toro plano con la gráfica de la función identidad.

**Background:** Se refiere al color del fondo de la ventana.

Cualquiera de estas curvas será trazada si, en la caja de diálogo que aparece al activar la opción *View*, el botón que aparece del lado izquierdo del nombre de cada una de estas curvas es seleccionado. Los colores con que serán trazadas se eligen activando el botón *Color* que aparece del lado derecho

## *Integrate and Fire*

del nombre de cada curva, con lo que aparece una paleta de colores que es estándar en el sistema operativo Windows.



**Calculate:** Configura las condiciones iniciales y la dirección de integración para obtener las sucesiones de tiempos de disparos del sistema.



**Initial Condition:** Selecciona la condición inicial a partir de la cual serán calculadas las iteraciones de la función de fases de disparos.

**Number of Iterations:** Indica el número de iteraciones de la función de fases de disparos que serán realizadas

## *Integrate and Fire*

y reflejadas en la identidad cada vez que el usuario pida hacer iteraciones.

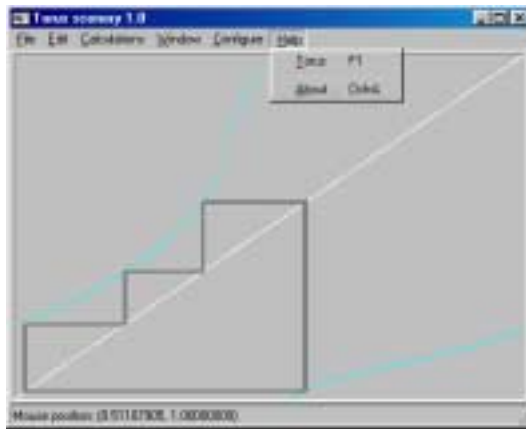
**Iterate Order:** Indica el orden de la iterada de la función de fases de disparos que será trazada en el toro plano.

**Integration Type:** Presenta opciones para calcular la dirección de la dinámica:

**Forward:** Permite analizar la dinámica directa o la evolución del sistema en la dirección positiva del tiempo.

**Backward:** Permite analizar la dinámica inversa o la evolución del sistema en la dirección negativa del tiempo.

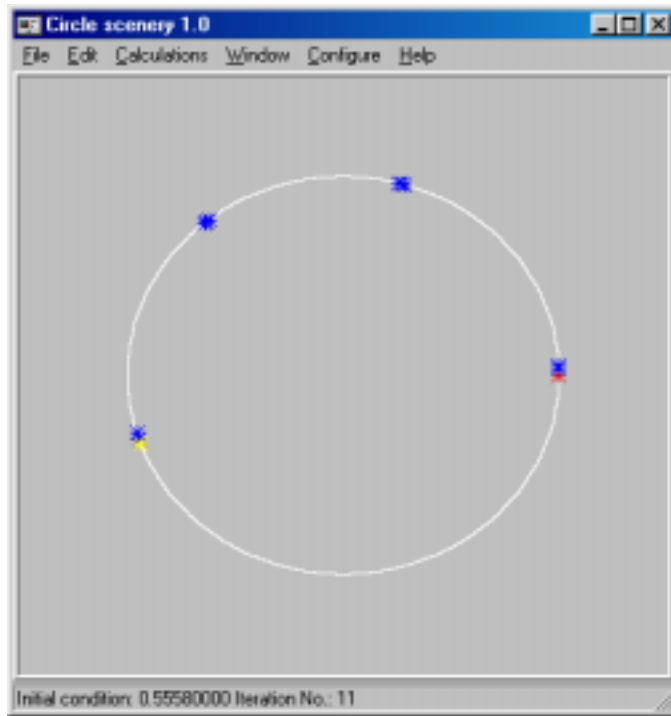
### 3.4.6. Menú Help



Este menú contiene solamente dos opciones:



### 3.5. Circle Scenery

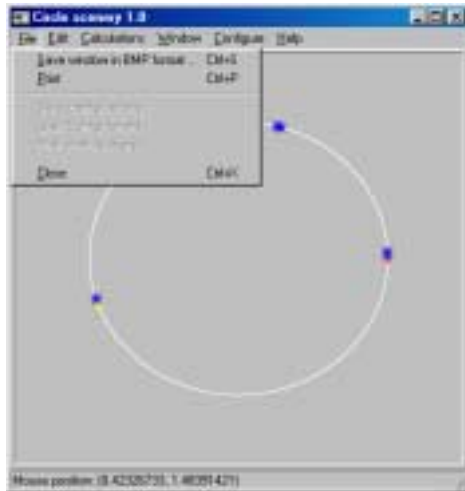


Desde este escenario gráfico se puede analizar la dinámica del sistema mediante estudio de las iteraciones de las funciones de la circunferencia en la circunferencia, generadas por los disparos de las curvas integrales de la ecuación diferencial al llegar al umbral de disparos. El control de las acciones de este escenario es mediante un conjunto de menús cuyas opciones se describen en seguida:

**Conjunto de Menús:** Los cambios en la configuración de este escenario se hacen mediante varios menús.

Menú **File**  
Menú **Edit**  
Menú **Calculations**  
Menú **Window**  
Menú **Configure**  
Menú **Help**

### 3.5.1. Menú File



Permite guardar e imprimir imágenes y configuración. Las opciones de este menú son:

**Save Window in BMP Format Ctrl-G:** Permite salvar la imagen trazada dentro de la ventana en un archivo de gráficos en el formato deseado por el usuario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y G.

**Print Ctrl-I:** Manda a impresión la imagen trazada dentro de la ventana de este escenario gráfico. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl e I.

**Save Configurations:** Graba en un archivo los datos necesarios para volver a trazar los cálculos realizados.

**Load Configurations:** Lee de un archivo los datos necesarios para volver a trazar los cálculos realizados.

**Print Configurations:** Imprime los valores de los parámetros y la configuración actual de la ventana.

**Close Ctrl-X:** Cierra el escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y X.

### 3.5.2. Menú Edit



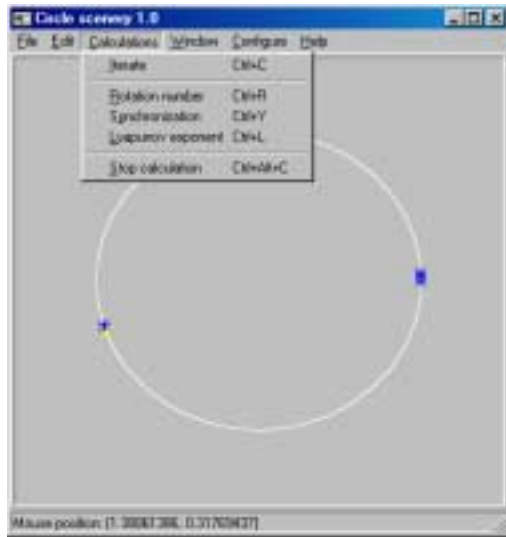
Se usa para la transferencia de valores de parámetros entre dos o más ventanas de escenarios gráficos.



**Copy Ctrl-C:** Permite copiar los valores de los parámetros para almacenarlos en un buffer de memoria. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y C.

**Paste Ctrl-V:** Transfiere los valores de los parámetros almacenados en el buffer para hacer cálculos en la ventana de escenarios gráficos activa. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y V.

### 3.5.3. Menú Calculations



Con este menú se pueden realizar los diferentes cálculos que nos permiten analizar la dinámica del sistema en este escenario gráfico. Es posible calcular:

**Iterate:** Traza las iteraciones de la función de la circunferencia en la circunferencia usando los valores de los parámetros

## *Integrate and Fire*

actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y C.

**Rotation Number:** Calcula el número de rotación de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y R.



**Synchronization:** Calcula la sincronización de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y Y.

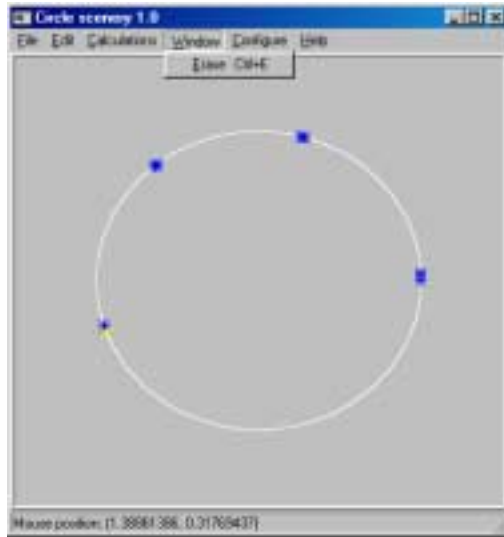


**Lyapunov Exponent:** Calcula el exponente de Lyapunov de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y L.



**Stop Calculation Ctrl+Alt+C:** Detiene los cálculos. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl, Alt y C.

#### 3.5.4. Menú Window



Este menú tiene una única opción:

**Erase:** Limpia la ventana del escenario.

### 3.5.5. Menú Configure



Este menú permite configurar los valores de los parámetros del sistema, así como los valores para realizar un gráfico en este escenario.

**Parameters:** Permite editar los valores para seleccionar un rango y un dominio donde sea visualizada la dinámica del sistema en este escenario.



**View:** Permite seleccionar de entre las siguientes curvas y marcas propias de este escenario las que se deseen trazar, así como configurar el color en que serán trazadas. Estas curvas son:



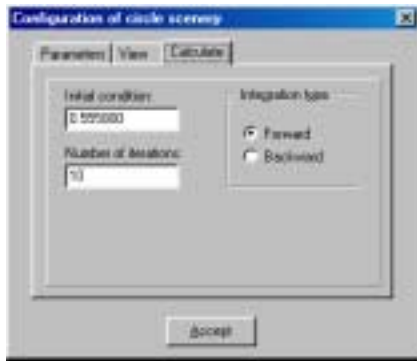
**Orbits:** Traza las marcas que indican las iteraciones de las funciones de la circunferencia en la circunferencia.

**Circumference:** Traza la circunferencia.

**Background:** Se refiere al color del fondo de la ventana.

Cualquiera de estas curvas será trazada si, en la caja de diálogo que aparece al activar la opción *View*, el botón que aparece del lado izquierdo del nombre de cada una de estas curvas es seleccionado. Los colores con que serán trazadas se eligen activando el botón *Color* que aparece del lado derecho del nombre de cada curva, con lo que aparece una paleta de colores que es estándar en el sistema operativo Windows.

**Calculate:** Configura las condiciones iniciales y la dirección de integración para obtener las sucesiones de tiempos de disparos del sistema.



**Initial Condition:** Selecciona la condición inicial a partir de la cual será calculada la sucesión de iteraciones de la función de la circunferencia en la circunferencia.

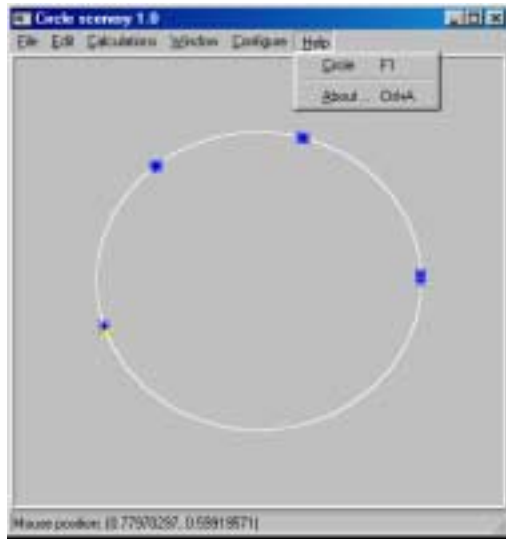
**Number of Iterations:** Indica el número de iteraciones de la función de la circunferencia en la circunferencia que serán realizadas cada vez que el usuario pida hacer iteraciones.

**Integration Type:** Presenta opciones para calcular la dirección de la dinámica:

**Forward:** Permite analizar la dinámica directa o la evolución del sistema en la dirección positiva del tiempo.

**Backward:** Permite analizar la dinámica inversa o la evolución del sistema en la dirección negativa del tiempo.

### 3.5.6. Menú Help

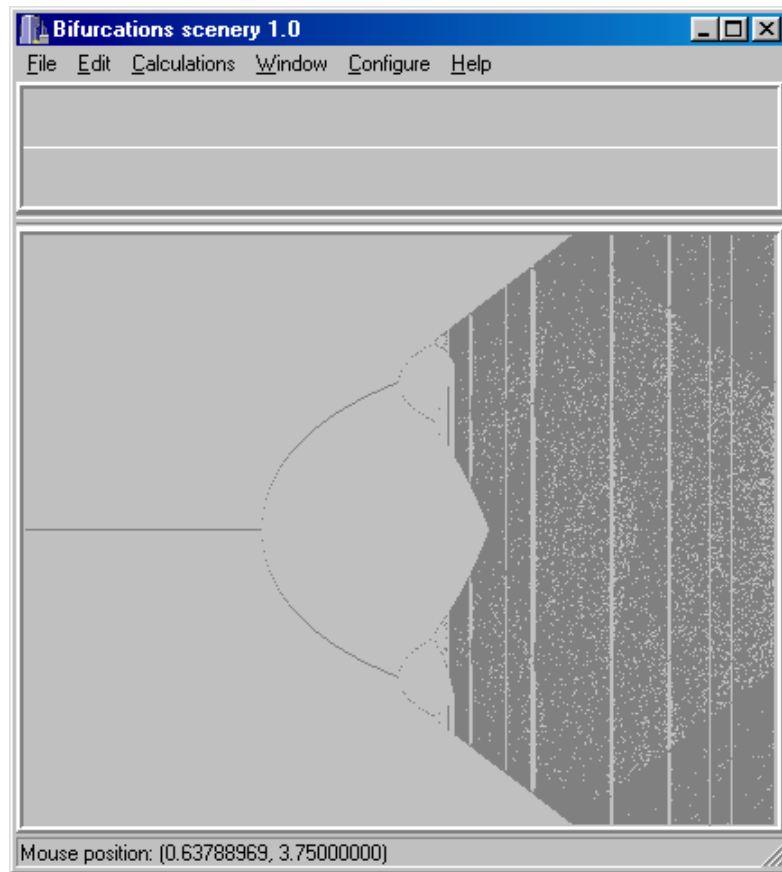


Este menú contiene opciones de ayuda para el escenario gráfico e información acerca del programa **Integrate and Fire**. Las opciones son:

**Circle:** Presenta una pantalla con la ayuda para manejar el escenario gráfico de la circunferencia. Se consigue el mismo efecto presionando la tecla F1.

**About:** Presenta una pantalla con información acerca de los autores del programa **Integrate and Fire**. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y V.

### 3.6. Bifurcations Scenery



Desde este escenario gráfico se puede analizar la dinámica del sistema mediante estudio de las bifurcaciones que tiene el comportamiento cualitativo de las funciones de la circunferencia en la circunferencia generadas por los disparos



de las curvas integrales de la ecuación diferencial al llegar al umbral de disparos. El control de las acciones de este escenario es mediante un conjunto de menús cuyas opciones se describen en seguida:

Este escenario gráfico se compone de dos ventanas: una en la parte superior del escenario gráfico, donde se traza la gráfica del Exponente de Lyapunov, y otra en la parte inferior del escenario gráfico, donde se traza el diagrama de Bifurcaciones. Es posible repartir el área que ocupa cada una de estas ventanas, sujetando con el mouse la raya o división que hay entre ambas.

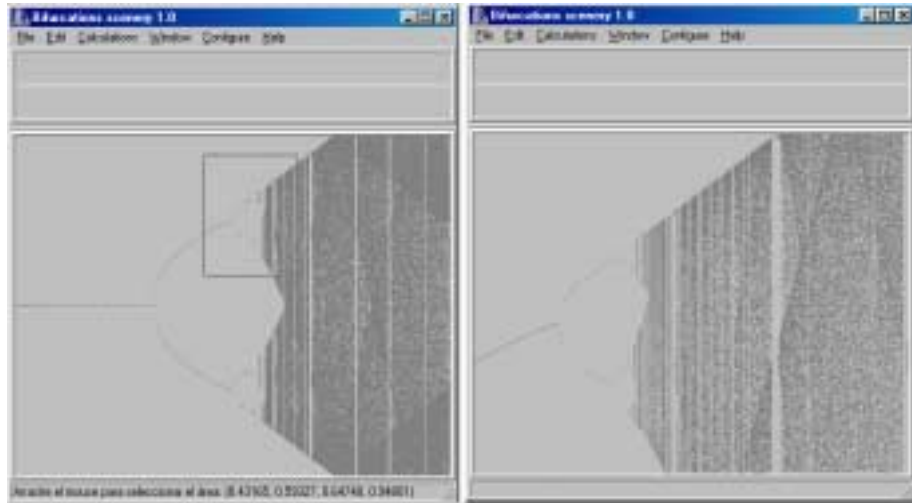
La ventana de este escenario gráfico permite hacer zooms o acercamientos de regiones rectangulares, seleccionando con el mouse una de las esquinas de la región y desplazando el cursor sin soltar el botón izquierdo del mouse. Una vez que la región deseada haya sido seleccionada, se muestra una caja de diálogo donde se pregunta al usuario si es que desea realizar el acercamiento.



Si el usuario contesta afirmativamente, automáticamente se reemplaza la imagen existente con un nuevo diagrama de bifurcaciones que corresponde a la región marcada anteriormente.

## *Integrate and Fire*

A continuación se muestra un diagrama de bifurcaciones después de haber marcado una región de zoom y luego el diagrama correspondiente a la región amplificada:

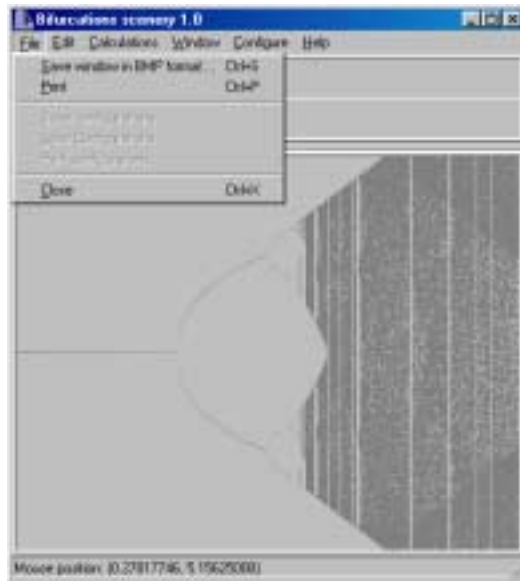


Además, si el usuario desea recuperar el anterior diagrama de bifurcaciones, puede hacerlo mediante la opción *Zoom Out* del menú *Window* de este mismo escenario o bien presionando la combinación de teclas de acceso directo Ctrl-Z

**Conjunto de Menús:** Los cambios en la configuración de este escenario se hacen mediante varios menús.

- Menú **File**
- Menú **Edit**
- Menú **Calculations**
- Menú **Window**
- Menú **Configure**
- Menú **Help**

### 3.6.1. Menú File



Permite guardar e imprimir imágenes y configuración. Las opciones de este menú son:

**Save Window in BMP Format Ctrl-G:** Permite salvar la imagen trazada dentro de la ventana en un archivo de gráficos en el formato deseado por el usuario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y G.

**Print Ctrl-I:** Manda a impresión la imagen trazada dentro de la ventana de este escenario gráfico. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl e I.

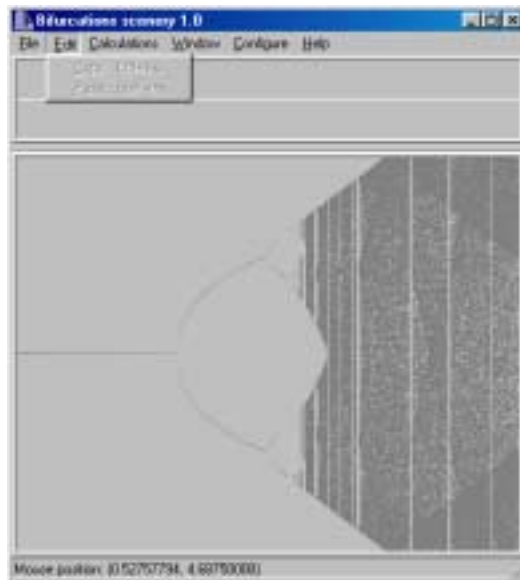
**Save Configurations:** Graba en un archivo los datos necesarios para volver a trazar los cálculos realizados.

**Load Configurations:** Lee de un archivo los datos necesarios para volver a trazar los cálculos realizados.

**Print Configurations:** Imprime los valores de los parámetros y la configuración actual de la ventana.

**Close Ctrl-X:** Cierra el escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y X.

### 3.6.2. Menú Edit

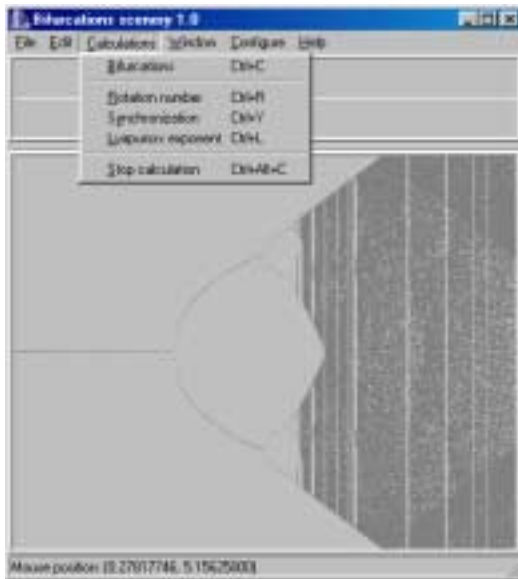


Se usa para la transferencia de valores de parámetros entre dos o más ventanas de escenarios gráficos.

**Copy Ctrl-C:** Permite copiar los valores de los parámetros para almacenarlos en un buffer de memoria. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y C.

**Paste Ctrl-V:** Transfiere los valores de los parámetros almacenados en el buffer para hacer cálculos en la ventana de escenarios gráficos activa. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y V.

### 3.6.3. Menú Calculations



Con este menú se pueden realizar los diferentes cálculos que nos permiten analizar la dinámica del sistema en este escenario gráfico. Es posible calcular:

**Bifurcations:** Traza las bifurcaciones de la función de la circunferencia en la circunferencia usando los rangos de valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y C.

**Rotation Number:** Calcula el número de rotación de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y R.



**Synchronization:** Calcula la sincronización de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y Y.

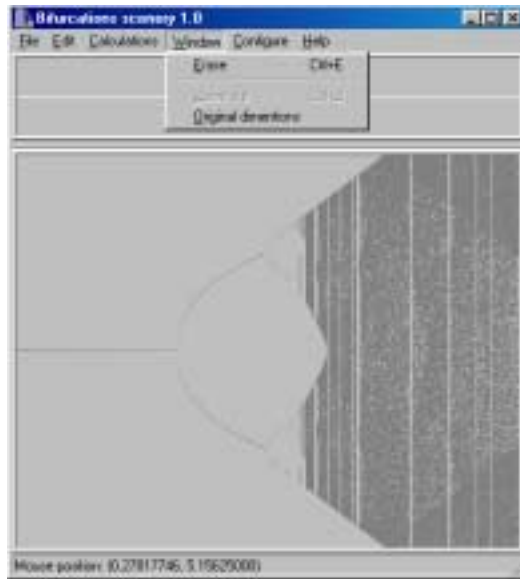


**Lyapunov Exponent:** Calcula el exponente de Lyapunov de las funciones en la circunferencia usando los valores de los parámetros actuales en este escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y L.



**Stop Calculation Ctrl+Alt+C:** Detiene los cálculos. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl, Alt y C.

### 3.6.4. Menú **Window**



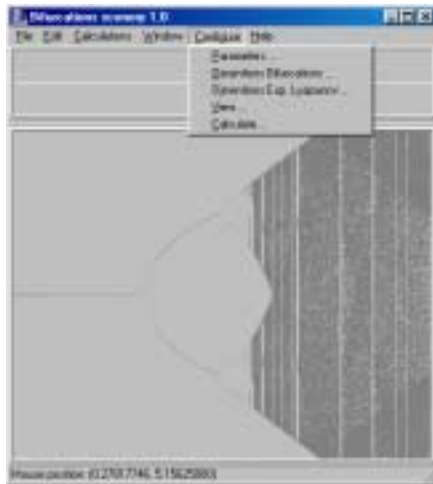
Este menú tiene una única opción que permite borrar los gráficos de este escenario:

**Erase:** Limpia la ventana del Escenario. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y E.

**Zoom Out Ctrl+Z:** Realiza un acercamiento o zoom. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y Z.

**Original Dimentions** Restablece las dimensiones originales de la ventana después de efectuar un zoom.

### 3.6.5. Menú Configure



Este menú permite configurar los valores de los parámetros del sistema, así como los valores para realizar un gráfico en este escenario.

**Parameters:** Permite editar los valores para seleccionar un rango y un dominio donde sea visualizada la dinámica del sistema en este escenario.





**Dimensions Bifurcations:** Permite editar los valores del rango de parámetros del sistema en este escenario y el rango de las iteraciones para ilustrar las bifurcaciones.



**Horizontal:** Configura las dimensiones reales en el eje horizontal de la región donde se analiza el comportamiento de las bifurcaciones.

**Maximum:** Máximo valor del dominio de las bifurcaciones.

**Minimum:** Mínimo valor del dominio de las bifurcaciones.

**Vertical:** Configura las dimensiones reales en el eje vertical de la región donde se analiza el comportamiento de las bifurcaciones.

**Maximum:** Máximo valor del rango de las bifurcaciones.

**Minimum:** Mínimo valor del rango de las bifurcaciones.

**Dimensions Exp. Lyapunov:** Permite editar los valores del rango para trazar en cada punto de los parámetros del sistema en este escenario los exponentes de Lyapunov, que indican si la dinámica del sistema es periódica o ergódica.



**Horizontal:** Configura las dimensiones reales en el eje horizontal de la región donde se analiza el comportamiento de los exponentes de Lyapunov de las bifurcaciones.

**Maximum:** Máximo valor del dominio de los exponentes de Lyapunov de las bifurcaciones.

**Minimum:** Mínimo valor del dominio de los exponentes de Lyapunov de las bifurcaciones.

**Vertical:** Configura las dimensiones reales en el eje vertical de la región donde se analiza el comportamiento de los exponentes de Lyapunov de las bifurcaciones.

**Maximum:** Máximo valor del rango de los exponentes de Lyapunov de las bifurcaciones.

**Minimum:** Mínimo valor del rango de los exponentes de Lyapunov de las bifurcaciones.

**View:** Permite seleccionar de entre las siguientes curvas y marcas propias de este escenario las que se deseen trazar, así como configurar el color en que serán trazadas. Estas curvas son:



**Bifurcations:** Configuración gráfica para trazar los diagramas de bifurcaciones.

**Lyapunov Exp:** Configuración gráfica para trazar los diagramas de exponentes de Lyapunov en el escenario de bifurcaciones.

**Reference:** Marca el eje horizontal que indica el valor constante cero en las gráficas de los exponentes de Lyapunov. Sirve como referencia para indicar en qué puntos de los parámetros los exponentes de Lyapunov son positivos, negativos o cero.

**Background:** Se refiere al color del fondo de la ventana.

Cualquiera de estas curvas será trazada si, en la caja de diálogo que aparece al activar la opción *View*, el botón que aparece del lado izquierdo del nombre de cada una de estas curvas es seleccionado. Los colores con que serán trazadas se

eligen activando el botón *Color* que aparece del lado derecho del nombre de cada curva, con lo que aparece una paleta de colores que es estándar en el sistema operativo Windows.

**Calculate:** Configura las condiciones iniciales y la dirección de integración para obtener las sucesiones de tiempos de disparos del sistema.



**Points to Calculate:** Indica el número total de iteraciones de la función de la circunferencia en la circunferencia que serán realizadas para cada punto de la malla horizontal que indica en cuantos puntos será evaluado el parámetro que va variando.

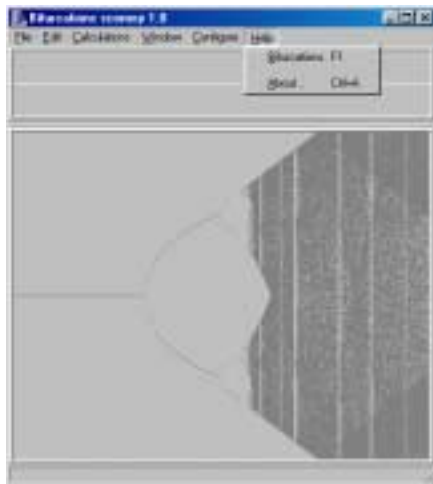
**Points to Draw:** Número de puntos o iteraciones de la función fases de disparo de la circunferencia que serán trazados en la ventana del escenario de bifurcaciones después de efectuar un número transitorio de iteraciones, dado por *Points to Calculate* - *Points to Draw*, de lo cual se deduce que *Points to Calculate* tiene que ser mayor que *Points to Draw*. Son estas iteraciones trazadas las que nos muestran los cambios cualitativos que tiene la dinámica del sistema al variar gradualmente uno de los parámetros y mantener constantes los demás.

**Integration Type:** Presenta opciones para calcular la dirección de la dinámica:

**Forward:** Permite analizar la dinámica directa o la evolución del sistema en la dirección positiva del tiempo.

**Backward:** Permite analizar la dinámica inversa o la evolución del sistema en la dirección negativa del tiempo.

### 3.6.6. Menú **Help**



Este menú contiene opciones de ayuda para el escenario gráfico e información acerca del programa Integrate and Fire. Las opciones son:

## *Integrate and Fire*

**Bifurcations:** Presenta una pantalla con la ayuda para manejar el escenario gráfico de los diagramas de bifurcaciones. Se consigue el mismo efecto presionando la tecla F1.

**About Ctrl+A:** Presenta una pantalla con información acerca de los autores del programa **Integrate and Fire**. Se consigue el mismo efecto presionando simultáneamente las teclas Ctrl y A.



## 5. Apéndice. Teclas de acceso directo.

### Ventana Maestra

Opción	Combinación
Exit	Ctrl+X
Rotation Number	Ctrl+R
Synchronization	Ctrl+Y
Lyapunov Exponent	Ctrl+L
Start Calculations	Ctrl+C
Stop Calculations	Ctrl+Alt+C
Erase Scenery	Ctrl+E
Help Ventana Maestra	F1
About	Ctrl+A

### Integral Curves Scenery

Opción	Combinación
Save Window in BMP Format	Ctrl+G
Print	Ctrl+I
Close	Ctrl+X
Copy	Ctrl+Ins
Paste	Shift+Ins
Integral Curves	Ctrl+C
Rotation Number	Ctrl+R
Synchronization	Ctrl+Y
Lyapunov Exponent	Ctrl+L
Stop Calculation	Ctrl+Alt+C
Erase	Ctrl+E
Help Integral Curves	F1
About	Ctrl+A

### **Lifts Scenery**

<b>Opción</b>	<b>Combinación</b>
Save Window in BMP Format	Ctrl+G
Print	Ctrl+I
Close	Ctrl+X
Copy	Ctrl+Ins
Paste	Shift+Ins
Graph	Ctrl+C
Iterations	Ctrl+I
Rotation Number	Ctrl+R
Synchronization	Ctrl+Y
Lyapunov Exponent	Ctrl+L
Stop Calculation	Ctrl+Alt+C
Erase	Ctrl+E
Help Lifts	F1
About	Ctrl+A

### **Torus Scenery**

<b>Opción</b>	<b>Combinación</b>
Save Window in BMP Format	Ctrl+G
Print	Ctrl+I
Close	Ctrl+X
Copy	Ctrl+Ins
Paste	Shift+Ins
Graph	Ctrl+C
Iterations	Ctrl+I
Rotation Number	Ctrl+R
Synchronization	Ctrl+Y
Lyapunov Exponent	Ctrl+L
Stop Calculation	Ctrl+Alt+C
Erase	Ctrl+E
Help Torus	F1
About	Ctrl+A



## Circle Scenery

Opción	Combinación
Save Window in BMP Format	Ctrl+G
Print	Ctrl+I
Close	Ctrl+X
Copy	Ctrl+Ins
Paste	Shift+Ins
Iterate	Ctrl+C
Rotation Number	Ctrl+R
Synchronization	Ctrl+Y
Lyapunov Exponent	Ctrl+L
Stop Calculation	Ctrl+Alt+C
Erase	Ctrl+E
Help Circle	F1
About	Ctrl+A

## Bifurcations Scenery

Opción	Combinación
Save Window in BMP Format	Ctrl+G
Print	Ctrl+I
Close	Ctrl+X
Copy	Ctrl+Ins
Paste	Shift+Ins
Iterate	Ctrl+C
Rotation Number	Ctrl+R
Synchronization	Ctrl+Y
Lyapunov Exponent	Ctrl+L
Stop Calculation	Ctrl+Alt+C
Erase	Ctrl+E
Zoom Out	Ctrl+Z
Help Bifurcations	F1
About	Ctrl+A