TEMA 1

GNU Octave

Octave se puede definir como un lenguaje de alto nivel inspirado en un software comercial llamado MATLAB® (MATrix LABoratory). MATLAB® estuvo pensado inicialmente para álgebra numérica lineal (matrices, vectores y sus operaciones), y con el tiempo se le ha sacado partido a esta forma de trabajo. De la misma forma, Octave empezó siendo un software para que los alumnos de Ingeniería Química de las Universidades de Wisconsin-Madison y Texas calcularan reacciones químicas.

A partir de ese momento, las contribuciones de los usuarios han hecho evolucionar este software y han añadido librerías y funcionalidades. Ahora, las aplicaciones de Octave ya no se limitan a simple trabajo con matrices y vectores, como una mera calculadora, sino que ahora aparte de aplicaciones puramente matemáticas o numéricas, es válido para otros campos de ciencias e ingenierías. Entre ellos, el procesamiento de señales (sonido), de imágenes (filtrados, análisis, etc), estadística, geometría, redes neuronales, sistemas de control realimentados y hasta dibujo vectorial. Intentaremos poner ejemplos de cada una de estas aplicaciones en la medida de lo posible para mostrar la versatilidad de Octave.

Estas librerías se pueden programar de forma interpretada, usando el propio lenguaje de octave, o de forma binaria, usando cualquiera de los lenguajes que soporte gcc como C/C++, pascal o fortran (recordemos que todo el código objeto era intercambiable). Además, también se puede hacer a la inversa, es decir, traducir programas de octave a c++ usando una librería llamada liboctave. Con esto se elimina la etapa de interpretación al ejecutarlo con lo que se gana velocidad cuando ésta sea determinante. Parece que hay bastantes cosas por ver, así que vamos a empezar.

1.1. Entorno

Octave tiene una filosofía de uso semejante a la de muchas otras aplicaciones de este libro: una interfaz en forma de shell, con una linea de comandos potente con muchos atajos y facilidades, para problemas sencillos, y la posibilidad de poder agrupar muchos comandos en ficheros de scripts, organizados en funciones, para enfrentarse a problemas complejos o para realizar automatizaciones.

Para comenzar a ver el manejo básico vamos a ejecutar Octave de manera interactiva. Con este método de trabajo, si cometemos un error al entrar una línea, podremos corregirlo sobre la marcha.

Para ejecutarlo, abre un terminal y en la línea de comandos teclea `octave`. Tras un mensaje de bienvenida, Octave te muestra un prompt que indica que está preparado y a la espera de comandos. En algunas distribuciones, Octave puede tener su icono en uno de los menúes del sistema, en la zona de aplicaciones matemáticas. Teclear `octave` en la consola es más rápido y funciona el 100 % de las veces. Esto es lo que se nos muestra:

```
$ octave
GNU Octave, version 2.1.34 (i386-pc-linux-gnu).
Copyright (C) 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 John W. Eaton.
This is free software with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
For details, type 'warranty'.

octave:1>
```

Cuando quieras salir de Octave teclea `exit`, `quit` o `C-D` y volverás al shell de partida.

La ayuda completa de octave la puedes obtener desde el prompt tecleando `help -i`. También puedes visualizar la misma ayuda desde el shell tecleando `info octave`. Luego, la documentación para cada función y variables se obtienen tecleando `help nombredelafuncion`. Por ejemplo:

```
octave:9> help coth
coth is the user-defined function from the file
/usr/share/octave/2.1.34/m/elfun/coth.m

 - Mapping Function:  coth (X)
     Compute the hyperbolic cotangent of each element of X.
```

La mayoría de los comandos de Octave disponen de esta ayuda. Vemos que se nos dice una descripción de los parámetros y lo que realiza la función, lo cual es suficiente para que podamos utilizarla.

Cuando se invoca sin argumentos se obtiene un listado de todas las operaciones, funciones y variables incorporadas definidas en el sistema. Para conseguir esta información, Octave rastrea por los directorios donde están instaladas las funciones; de ahí su peculiar forma de organizar esta salida, que nos muestra las funciones clasificadas por temas, lo que puede ayudarnos a mirar y probar funciones. Además, aquí podemos encontrarnos funciones que no están pasadas a la documentación.

Octave usa la librería *GNU readline* para la edición en línea de comandos, al igual que *bash* y otros programas *GNU*. Contiene un historial que se puede leer con las flechas arriba y abajo, muchas combinaciones de teclas para hacer muchas cosas. Para más información y explicación sobre estas características teclea desde un shell `info rluserman`. No entraremos más en este tema.

Cada vez que te equivoques en la sintaxis, octave te indicará la posición donde cree que está el fallo con un angulillo `^`. A veces no se puede fiar uno completamente, y sólo te ayuda a saber más o menos donde se localiza. Veámoslo aquí:

```
octave:13>  functon y = f (x) y = x^2; endfunction
parse error:
```

```
>>>  functon y = f (x) y = x^2; endfunction
              ^
```

Otro tipo de errores pueden ocurrir dentro de funciones. En este caso, son errores en tiempo de ejecución, porque ocurren por un fallo en la ejecución del programa. En este caso, lo que aparece es la línea y posición dentro de la función y en la función que lo llamó y en las siguientes. Por ejemplo, en este hipotético caso:

```
octave:13> f ()
error: 'x' undefined near line 1 column 24
error: evaluating expression near line 1, column 24
error: evaluating assignment expression near line 1, column 22
error: called from 'f'
```

En este caso, la función f se compone de unas funciones que se llaman a otras. El error está en la línea 1 con una x mal definida. La función que contiene este error, según octave, formaba parte de una expresión en la linea 1, que a su vez formaba parte de una asignación tambien en la línea 1. Obsérvese que la función es la que definimos en el anterior ejemplo y el error es que hace falta pasarle un parámetro a la función.

Los comentarios dentro del código de octave se preceden con el carácter `#` o `%` y abarcan desde ese carácter hasta el final de la línea. Si ponemos en octave un código como éste:

```
function xdot = f (x, t)

# usage: f (x, t)
#
# This function defines the right hand
# side functions for a set of nonlinear
# differential equations.

  r = 0.25;
  ...
endfunction
```

Octave interpreta los comentarios después de la función como el texto de ayuda. De esta forma, cuando hagamos `help xdot` nos mostrará como ayuda el texto que hemos definido en el ejemplo.

Cuando una línea se hace demasiado larga se puede añadir al final de la linea una barra invertida `\` o unos puntos suspensivos `...` y continuar en la siguiente línea.

```
x = long_variable_name ...
    + longer_variable_name \
    - 42
```

Otra cosa interesante es que por defecto se muestra el resultado de la operación al realizarla salvo cuando se añade un `;` al final de la operación. También se pueden hacer varias operaciones en una misma linea separándolas con `;`.

```
octave:1> a=sqrt(3)
a = 1.7321
octave:2> b=sqrt(5);
octave:3> b
b = 2.2361
octave:4> sqrt(7)
ans = 2.6458
```

Como última nota, hay que añadir que cuando no capturamos el valor de retorno aparece la palabra `ans`, que representa el último resultado, y que se puede usar como variable en la siguiente línea. Continuando el ejemplo anterior:

```
octave:5> ans*ans
ans = 7.0000
octave:6> ans*ans
ans = 49.000
```

1.2. Tipos de datos

En Octave hay tres tipos de datos: numéricos (escalares, vectores y matrices), cadenas (strings) y estructuras. Como es de suponer, los numéricos son los más usados, mientras que cadenas sólo se usan para presentar mensajes. Las estructuras son algo que nos pueden dar una buena base para organizar tareas más complicadas. A continuación se muestra la forma de definir cada uno de ellos.

```
octave:13> a=[1 2 3]
a =
  1  2  3

octave:14> b=[1,2,3;4,5,6]
b =
  1  2  3
  4  5  6

octave:15> c="hola mundo"
c = hola mundo

octave:16> d.vector=[1;2];
octave:17> d.matriz=[1 2; 3 4];
octave:18> d.texto="titulo";
octave:19> d
d =
{
  texto = titulo
  vector =
    1
    2
```

```
  matriz =
    1  2
    3  4

}
octave:20> d.vector
d.vector =
    1
    2
```

Se observará que las definiciones de matrices o vectores, las filas van separadas por comas `(,)` o espacios `( )` mientras que las columnas se separan por punto y coma `(;)`. También observamos que una estructura no es más que un *paquete* donde se pueden almacenar varias variables relacionadas juntas. Se usan principalmente para reducir el número de argumentos de las funciones agrupando todos los argumentos relacionados en estructuras y pasando éstas.

En relación con matrices y vectores, las siguientes funciones nos informan sobre las dimensiones de estos elementos. Por ejemplo:

```
octave:25> length(a)
ans = 3
octave:26> columns(b)
ans = 3
octave:27> rows(b)
ans = 2
octave:28> size(b)
ans =

  2  3
```

Donde `length` da la dimensión de un vector fila o columna, `columns` y `rows` dan las columnas o filas de una matriz y `size` devuelve un vector fila con las dimensiones.

Ya hemos visto la forma más simple de definir una matriz. También se puede definir una matriz en base a otras matrices existentes. Por ejemplo, continuando de lo anterior, podemos construir una matriz concatenando un vector fila junto a otro o encima de otro:

```
octave:34> g=[a a]
g =

  1  2  3  1  2  3

octave:35> g=[a;a]
g =

  1  2  3
  1  2  3
```

Como última nota sobre vectores y matrices, sólo queda comentar que hay una forma taquigráfica de definir un vector secuencial. `m:n` devuelve un vector de números consecutivos desde m hasta n de uno en uno, ambos inclusive. Por ejemplo:

```
octave:36> -2:3
ans =

  -2  -1   0   1   2   3
```

De igual manera, `m:s:n` devuelve un vector de números consecutivos que van desde m hasta n de s en s. Por ejemplo:

```
octave:37> 7:-2:1
ans =

  7  5  3  1
```

De las operaciones con cadenas diremos que se tratan como vectores y que hay muchas funciones para su manejo pero que no nombraremos aquí. Las operaciones con matrices y vectores son las usuales. De resto, comentar que también existen tipos de datos booleanos.

1.3. Variables y expresiones

Octave te permite llamar a las variables con secuencias de cualquier longitud de letras, números y subrayados, pero sin empezar en dígito. Los nombres son sensibles a mayúsculas/minúsculas. Ya hemos tenido ejemplos anteriormente.

Una vez que ha sido definida una variable, puede ser útil conocer el comando `who` que nos da una lista de variables definidas, y `whos` que nos muestra más información.

```
octave:15> who

*** local user variables:

a  b  c  d  g

octave:16> whos

*** local user variables:

prot  type                      rows   cols  name
====  ====                      ====   ====  ====
 rwd  matrix                       1      3  a
 rwd  matrix                       2      3  b
 rwd  string                       1     10  c
 rwd  struct                       -      -  d
 rwd  matrix                       2      3  g
```

En caso de que queramos eliminar una variable de memoria usaremos la orden `clean nombredevariable`. En caso de que queramos borrar todas las variables simplemente teclearemos `clear` sin argumentos.

La primera expresión que podemos aprender es la *extracción* de valores desde una matriz. En el caso más sencillo de extraer un elemento, por ejemplo, de la fila 1 y columna 2, escribimos `a(1,2)`. El operador `:` (dos puntos) nos vale de comodín, y nos valdrá para extraer, por ejemplo, toda la fila 1 escribiendo `a(1,:)` o toda la columna 2 escribiendo `a(:,2)`. También podemos incluir rangos en los argumentos, por ejemplo, para sacar las columnas 2 y 3 sería `a(:,[2 3])`.

Cabe señalar que las matrices en octave se crean dinámicamente, bajo demanda, es decir, que no hay que asignarles previamente un tamaño prefijado. Por ejemplo, este código al final contendrá un vector de 10 elementos:

```
for i = 1:10
  a (i) = sqrt (i);
endfor
```

Aunque no debemos hacer uso de esta creación dinámica salvo en casos irremediables, pues en el anterior ejemplo hemos reasignado memoria 10 veces, pues hemos creado primero un vector de tamaño 1, luego otro de tamaño 2, etc. En cambio, si hubiésemos previamente creado un vector de ceros de tamaño 10, con `zeros(1,10)`, el bucle no necesitaría cambiar el tamaño del vector. Aunque la mejor medida para conseguir velocidad es aprovechar la notación matricial de octave, y en vez del anterior ejemplo, escribir `a=sqrt(1:10);`, que hace lo mismo en una sola línea y es aún más rápido. Dejemos el inciso y sigamos.

Las expresiones más usadas son las aritméticas, que detallamos como:

X+Y y X-Y La suma y la resta. Si ambos operandos son matrices, el número de filas y columnas deben coincidir. Si uno es un número, su valor es añadido o restado respectivamente a todos los elementos del otro operando.

X.+Y y X.-Y Suma o resta elemento a elemento. Son equivalentes a las anteriores.

X*Y Producto de matrices. El número de columnas de X debe coincidir con el de filas de Y.

X.*Y Producto de dos elementos. Si ambos operandos son matrices, sus dimensiones deben coincidir.

X/Y División por la derecha. Esto es conceptualmente equivalente a la expresión `(inverse (y´) * x´)´` usada para resolver sistemas lineales, pero que se calcula sin hacer la inversa de `y´`.

X./Y División por la derecha elemento a elemento.

X\Y División por la izquierda. Esto es conceptualmente equivalente a la expresión `inverse (x) * y` pero que se calcula sin hacer la inversa de `x`.

X.\Y División por la izquierda elemento a elemento.

X^Y o XY** Potencia. Si X e Y son escalares, devuelve X elevado a la potencia de Y. Si X es escalar e Y es una matriz cuadrada, se calcula usando autovalores. Si X es una matriz cuadrada e Y es un escalar, la matriz se calcula con repetidas multiplicaciones si Y es entero y usando autovalores si no es entero.

X.^Y o X.Y** Potencia elemento a elemento. Si ambos sin matrices, sus dimensiones deben coincidir.

X.' Traspuesta.

X' Traspuesta compleja conjugada. Para valores reales es equivalente a la traspuesta. Para valores complejos, es equivalente a la expresión `conj(X.')`.

Luego tenemos los operadores de comparación, que pueden ser `<` menor, `<=` menor o igual, `==` igual, `>=` mayor o igual, `>` mayor y cualquiera de estos `!=`, `~=` o `<>` distinto. Aplicados entre matrices devuelven una matriz de unos y ceros, con unos en los elementos donde la condición se cumpla y cero donde no se cumpla. También tenemos operadores booleanos y de incrementación y decrementación, pero que no los vamos a nombrar.

1.4. Control de flujo

Las sentencias para el control de flujo son las típicas de cualquier lenguaje de programación. Pondremos un simple ejemplo de cada una para que sirva de referencia en el caso que tuvieras que usarlas. Todas las sentencias se caracterizan por finalizar con una sentencia `end*`.

1.4.1. if

El caso más general de `if` es la estructura if-elseif-else-endif, que se muestra aquí.

```
if (rem (x, 2) == 0)
  printf ("x es par\n");
elseif (rem (x, 3) == 0)
  printf ("x es impar y divisible por 3\n");
else
  printf ("x es impar\n");
endif
```

1.4.2. switch

Es de reciente implantación así que se considera experimental (con respecto a la versión 2.0.5). Es una mera traducción de un bloque if, así que las condiciones siempre se miran de arriba a abajo y se ejecuta el código de la primera que sea verdadera y luego se sale. La forma de uso es la siguiente:

```
switch x
  case (x>=5)
    printf("x es mayor o igual que 5\n");
  case (x>=2)
    printf("x es mayor o igual que 2 y menor que 5\n");
  otherwise
    printf("x es menor que 2\n");
endswitch
```

1.4.3. while

Primero se comprueba la condición, y si es válida se ejecuta el cuerpo y el proceso se repite. Si no es válida se sale.

```
fib = ones (1, 10);
i = 3;
while (i <= 10)
  fib (i) = fib (i-1) + fib (i-2);
  i++;
endwhile
```

1.4.4. do-until

Es el mismo caso que el `while`, pero comprobando la condición al final, después de haber ejecutado una vez el cuerpo. Es decir, se ejecuta el cuerpo y se comprueba la condición, y si es válida se ejecuta el cuerpo de nuevo y el proceso se repite. Si no es válida se sale.

```
fib = ones (1, 10);
i = 2;
do
  i++;
  fib (i) = fib (i-1) + fib (i-2);
until (i == 10)
```

1.4.5. for

La variable del bucle se asigna consecutivamente a todos los elementos de un vector. En el caso de ejemplo, la variable i toma los valores 3, 4, . . . , 9 y 10, ejecutando luego el cuerpo.

```
fib = ones (1, 10);
for i = 3:10
  fib (i) = fib (i-1) + fib (i-2);
endfor
```

1.4.6. break/continue

La sentencia break permite salir de un bucle `for` o `while` y seguir la ejecución del programa en la sentencia siguiente al bucle. La sentencia `continue` simplemente se salta todo el cuerpo y realiza la siguiente iteración del bucle sin salirse.

1.4.7. unwind_protect/try

Octave permite dos formas limitadas de manejo de excepciones. Más información en el manual.

1.5. Funciones

Pongamos un ejemplo de como se define una función en octave. En este ejemplo, a la función se le pasa un argumento que debe ser un vector, y se devuelve la media de sus componentes:

```
function retval = avg (v)
  # ayuda: la funcion avg(v) devuelve el promedio
  # de las componentes del vector v

  retval = sum (v) / length (v);
endfunction
```

Como se puede apreciar, es una función con un argumento y un valor de retorno. En octave, los argumentos de la función son locales, es decir, que los argumentos son copias de los originales y si se modifican desde dentro de la función, los cambios no son vistos por el llamante. Esto implica que la única forma que tenemos de devolver valores al llamante sea usando valores de retorno como en el ejemplo. Podemos hacer que devuelva más de un valor de retorno, disponiéndolos entre corchetes, como en este otro ejemplo que calcula el máximo de un vector.

Fichero `vmax.m`

```
function [max, idx] = vmax (v)
  # ayuda: vmax(v) devuelve el máximo valor de un vector
  # y la posición que ocupa

  idx = 1;
  max = v (1);
  for i = 2:length (v)
    if (v (i) > max)
      max = v (i);
      idx = i;
    endif
  endfor
endfunction
```

Ejemplo 1.1: La función recibe un vector y devuelve dos valores, el máximo valor encontrado en el vector y la posición donde se encuentra.

Excepto para casos muy simples, no es práctico teclear las funciones en la línea de comandos. Las funciones se suelen guardar en ficheros, que se pueden editar fácilmente y guardarlas para su uso posterior. Existe una pauta que hay que seguir, y es que el nombre del archivo debe ser el nombre de la función con la extensión `.m` en el directorio de trabajo. Por ejemplo, la función vmax que acabamos de definir la tendríamos que guardar en un fichero llamado *vmax.m* para que funcionase.

De igual forma se pueden colocar en ficheros instrucciones sueltas sin formar funciones. Esto se denomina *ficheros script*. Cuando se ejecuta uno de ellos, las instrucciones que contiene se ejecutan como si se escribieran una a una por la línea de comandos.

Cuando se le ordena a octave que ejecute una función el proceso que realiza es el siguiente: la lee y la analiza sintácticamente; en caso que no existan errores, la compila en un formato interno y pasa a ejecutarla. En caso de que el usuario le ordene a octave ejecutarla otra vez, si el fichero no ha sido modificado, octave utiliza la función ya compilada ahorrando el tiempo de lectura y análisis.

Veamos esto con un ejemplo. Cojamos el código fuente de la función anterior, guardémoslo en un fichero llamado *vmax.m* y tecleemos lo siguiente:

```
octave:1> clear
octave:2> who
octave:3> help vmax
vmax is the user-defined function from the file
/home/alberto/cvs/Libro\_CILA/ejemplos/vmax.m

ayuda: vmax(v) devuelve el máximo valor de un vector
y la posición que ocupa
...

octave:3> [max idx]=vmax([5 4 3 2 7 5 4 9 6])
max = 9
idx = 8
octave:4> who

*** currently compiled functions:

vmax

*** local user variables:

idx  max
```

Como estamos viendo, efectivamente `who` al principio, después de limpiar la memoria, no nos decía nada, pero después de ejecutar la función, nos informa que la tiene ya compilada y almacenada para posteriores usos.

Donde se hagan usos más exigentes de octave, este esquema, aunque es inteligente, resulta poco óptimo, pues lo que se hace es traducir la función a un lenguaje intermedio que luego octave interpreta cuando se le manda a ejecutar. Si nuestro uso requiere de la máxima potencia de cálculo, viene bien saber que octave es capaz de ejecutar código objeto compilado con gcc, es decir, código de c, c++, fortran o pascal. Veamos un ejemplo en c++ para darnos cuenta lo sencillo que es y de las posibilidades que nos puede abrir.

Fichero `oregonator.cc`

```
#include <octave/oct.h>

DEFUN_DLD(oregonator, args,, "El 'oregonador'.")
{
  ColumnVector dx(3);

  ColumnVector x(args(0).vector_value());

  dx(0) = 77.27 * (x(1) - x(0) * x(1) + x(0) - 8.375e-06 * pow(x(0), 2));
  dx(1) = (x(2) - x(0) * x(1) - x(1)) / 77.27;
  dx(2) = 0.161 * (x(0) - x(2));

  return octave_value(dx);
}
```

Ejemplo 1.2: Esta función recibe un vector de tres elementos como argumento de entrada y hace un cálculo con esos valores para devolver un resultado.

No vamos a analizar este ejemplo en profundidad, sino solamente dar unas pistas sobre como está hecho. En primer lugar vemos un `include <octave/oct.h>`. Lo que hace es definir todos los tipos de datos de octave y las funciones nativas como clases y métodos de C++. Con esto queremos decir que si en octave podíamos hacer `length(vector)` para obtener las dimensiones de un vector, en *C++* podremos hacer lo mismo usando `vector.lenght`. Entendido esto, el resto son meras particularidades sintácticas específicas de C++ en las que no entraremos. Para compilar este código, vayámonos a un shell y escribamos lo siguiente:

```
alberto@baifito:ejemplos\$ ls oregonator.*
oregonator.cc
alberto@baifito:ejemplos\$ mkoctfile oregonator.cc
alberto@baifito:ejemplos\$ ls oregonator.*
oregonator.cc  oregonator.o  oregonator.oct
```

El fichero *oregonator.o* es un código objeto como cualquier otro que se obtiene con gcc. El fichero *oregonator.oct* es la función recompilada para octave. Para probarla, entremos en octave y tecleemos lo siguiente:

```
octave:1> help oregonator
oregonator is the dynamically-linked function from the file
```

```
/home/alberto/cvs/Libro_CILA/ejemplos/oregonator.oct

El 'oregonador'.

...
octave:2> oregonator([1 2 3])
ans =

   77.269353
   -0.012942
   -0.322000
```

Como verás, en la ayuda de la función aparece el texto que definimos en el código fuente, así como una advertencia de que la función está dinámicamente linkada a las librerías de octave. En el segundo paso vemos que la ejecución de la función tambien funciona. Eso sí, si no pasamos los parámetros correctamente veremos como un *Segmentation Fault* cierra nuestro octave. El problema es que no comprobamos el tipo de dato en el código de C++, pero añadiendo las comprobaciones pertinentes podremos manejar estos casos excepcionales y no se dará este problema.

La ejecución de código compilado como éste puede llegar a ser hasta 10 veces más rápido que el código interpretado, en fichero con extensión `.m`. Además, podemos enlazar (link) funciones de otros lenguajes simplemente escribiendo una capa tal como hemos visto que se encargue de leer/escribir los datos en estructuras de octave. Y como en esos otros lenguajes se pueden hacer ventanas gráficas o acceder a periféricos, eso significa que en octave también se podrá. Las rutinas de procesamiento de imágenes que veremos (o las de sonido, que no veremos) son un ejemplo de ello. Para más ejemplos, consultar los ficheros con extensión `.cc` de la distribución de octave.

1.6. Representación gráfica

En los siguientes ejemplos entraremos en el campo de la representación gráfica, que también es sencillo (NOTA: no olvidarse los puntos y comas al final de línea pues los vectores son algo largos para estarlos visualizando, y pulsar `q` para cerrar las gráficas).

Para hacer representaciones gráficas deberás haber ejecutado Octave desde un shell dentro de las X puesto que la representación gráfica se realiza usando Gnuplot, cuya forma de funcionar por defecto es en entorno X-Window. No nos adentraremos demasiado pues describiremos Gnuplot en otro capítulo.

Presentación en una dimensión

La función `plot(vector)` o `plot(x,y)` es muy sencilla de usar. La diferencia entre ambas llamadas es que cuando presentamos un vector, el eje x se numera automáticamente de 1 en adelante, mientras que la segunda forma de llamarla, el valor del eje x está definido por nosotros. Veamos el siguiente ejemplo que presenta un período de una senoidal.

```
octave:25> x=[0:0.01:1];
```

```
octave:26> y=sin(2*pi*x);
octave:27> plot(x) # presentamos una recta
octave:28> plot(y) # presentamos una senoidal
octave:29> plot(x,y) # senoidal, pero con eje x bien puesto
```

Se pueden presentar varias gráficas en una usando la opción `hold on` y se pueden añadir títulos a las gráficas con un tercer párametro a la función `plot`. Veamos un ejemplo:

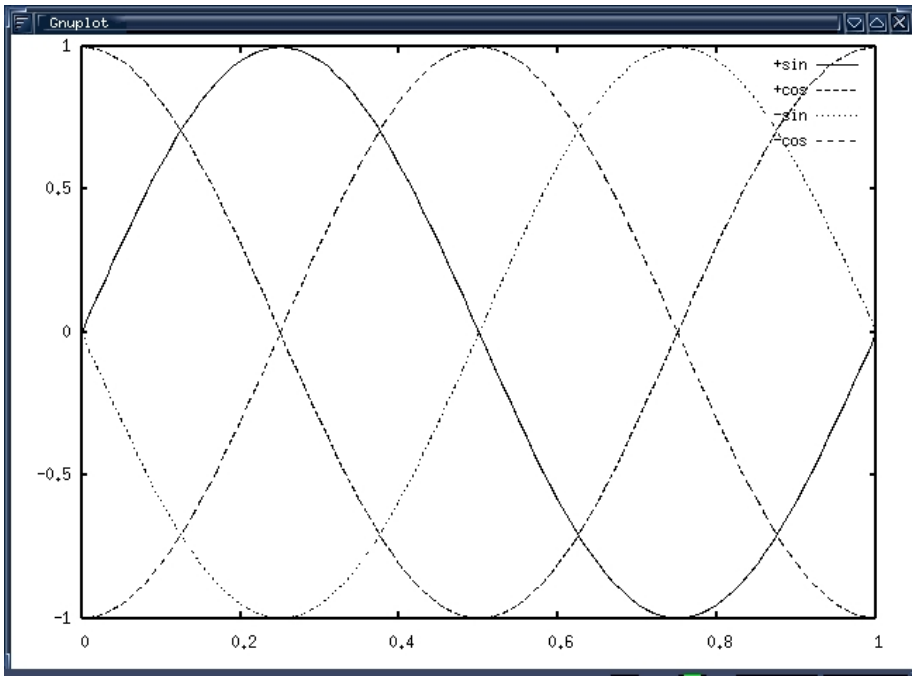


Figura 1.1: Múltiples líneas por gráfica.

Fichero `sinus.m`

```
#!/usr/bin/octave -qf
x=[0:0.01:1];       # rango variacion eje x
clearplot;          # borramos grafica
subplot(1,1,1);     # un unico plot centrado
axis("auto","normal");     # ejes automaticos
hold on;            # superpone siguientes graficos
plot(x, +sin(2*pi*x), ';+sin;')
plot(x, +cos(2*pi*x), ';+cos;')
plot(x, -sin(2*pi*x), ';-sin;')
plot(x, -cos(2*pi*x), ';-cos;')
```

Ejemplo 1.3: Mostramos gráficas sobreimpresas entre ellas y les asignamos títulos.

Octave y Gnuplot permiten diferentes estilos en las gráficas. Por ejemplo, en polares, de la forma `polar(`θ`,`ρ`)`:

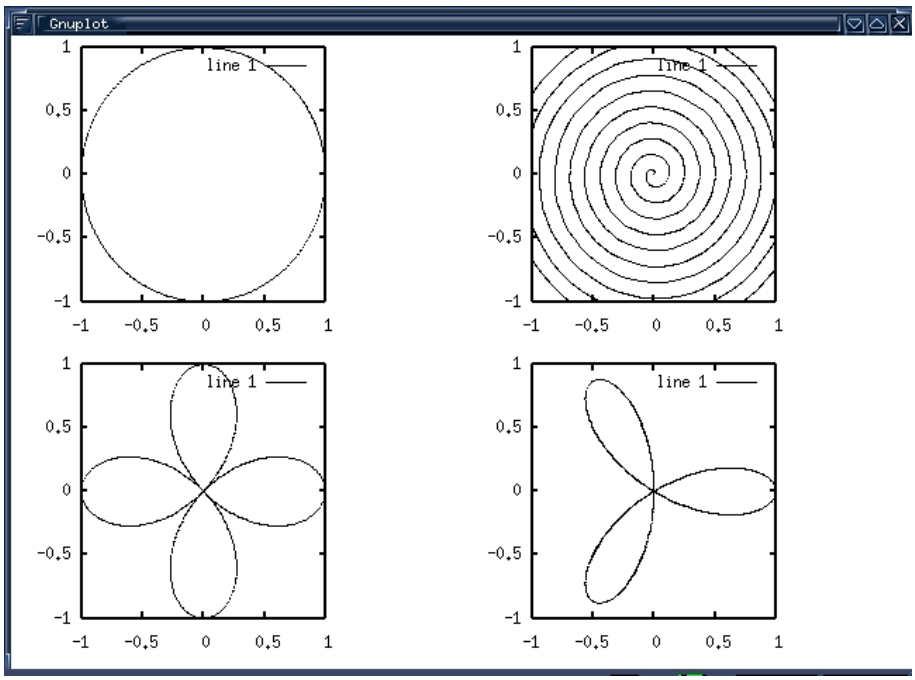


Figura 1.2: Diagramas en coordenadas polares

Fichero polares.m

```
#!/usr/bin/octave -qf
x=[0:0.01:2*pi];  # rango variacion angulo
clearplot;        # borra grafico
axis([-1 1 -1 1], "square");   # ejes manuales
hold off;         # no superpone siguientes graficos
subplot(2,2,1);   # cuadrante 1 de 4
polar(x,ones(size(x)));       # circulo
subplot(2,2,2);   # cuadrante 2 de 4
polar(10*x,x/5);    # espiral de arquímedes
subplot(2,2,3);   # cuadrante 3 de 4
polar(x,cos(2*x));# rosa de cuatro petalos
subplot(2,2,4);   # cuadrante 4 de 4
polar(x,cos(3*x));# rosa de tres petalos
```

Ejemplo 1.4: Mostramos cuatro gráficas diferentes en polares en cuatro cuadrantes.

También en forma de histograma, adornando las gráficas con títulos.

Fichero histo.m

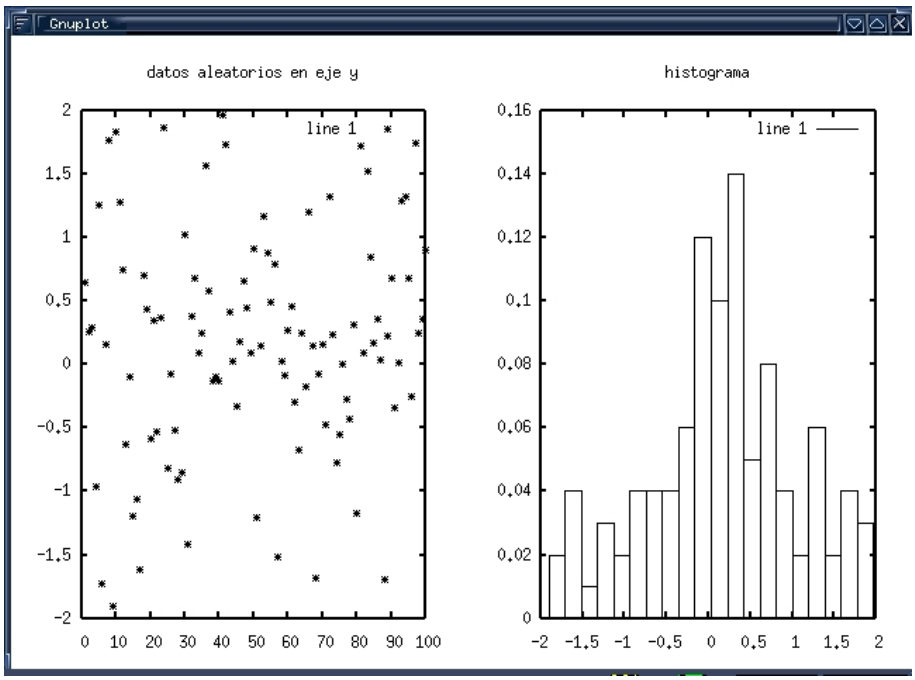


Figura 1.3: Representación de histogramas

```
#!/usr/bin/octave -qf
y=randn(100,1);   # matriz num aleatorios normal
clearplot;        # borra grafico
axis("auto","normal"); # ejes automáticos
hold off;         # no superpone siguientes graficos
subplot(1,2,1);   # cuadrante 1 de 2
title("datos aleatorios en eje y");
plot(y,'*');      # plotea los datos aleatorios con *
subplot(1,2,2);   # cuadrante 2 de 2
title("histograma");
hist(y,20,1);     # histograma de 20 barras normalizado a 1
```

Ejemplo 1.5: Mostramos un histograma y sus datos de partida, con títulos sobre las gráficas.

Representación en 3D

La función `mesh(x,y,z)` hace una representación 3D dados dos vectores `x` e `y` para los ejes y una matriz bidimensional `z` que será la coordenada Z en un espacio tridimensional. Otra función llamada `contour(x,y,z)` con los mismos argumentos que `mesh()`, dibujará las curvas de nivel de la superficie. En este ejemplo, lo más complicado será generar una matriz `z` bonita. Una vez tenemos la matriz y los ejes, las dos llamadas son directas.

Fichero `meshplot.m`

```
#!/usr/bin/octave -qf
1; # limpia memoria

function configura
    hold off;               # no superpone siguientes graficos
    clearplot();            # limpiamos
    axis("auto","normal");  # ejes automáticos
    subplot(1,1,1);         # nos ponemos en una sola ventana
    xlabel("eje x");        #
    ylabel("eje y");        # ponemos etiquetas
    zlabel("eje z");        #
endfunction

x=[-10:0.5:10];         # vector del eje x
y=[-10:0.5:10];         # vector del eje y
[mx,my]=meshgrid(x,y);  # genera matrices de ejes
mr=sqrt(mx.^2+my.^2);   # matriz que contiene el radio
mz=sin(mr)./mr;         # funcion z=sin(r)/r
configura();
subplot(1,2,1);         # cuadrante 1 de 2
title("plano eje x creciente, eje y constante");
mesh(x,y,mx);
subplot(1,2,2);         # cuadrante 2 de 2
title("plano eje x constante, eje y creciente");
mesh(x,y,my);
pause(5);               # pausar 5 segundos
configura();
subplot(1,2,1);         # cuadrante 1 de 2
title("superficie 3d");
mesh(x,y,mz);
subplot(1,2,2);         # cuadrante 2 de 2
title("curvas de nivel");
contour(x,y,mz);
```

Ejemplo 1.6: Mostramos una sinc en 3 dimensiones, así como los planos usados para generarla.

1.7. Matrices

Octave tiene una amplia colección de funciones para trabajar con matrices y vectores. Las veremos en un ejemplo.

```
octave:20> c=diag([1,2,3,4]) # creación de matrices diagonales
c =
  1  0  0  0
  0  2  0  0
```

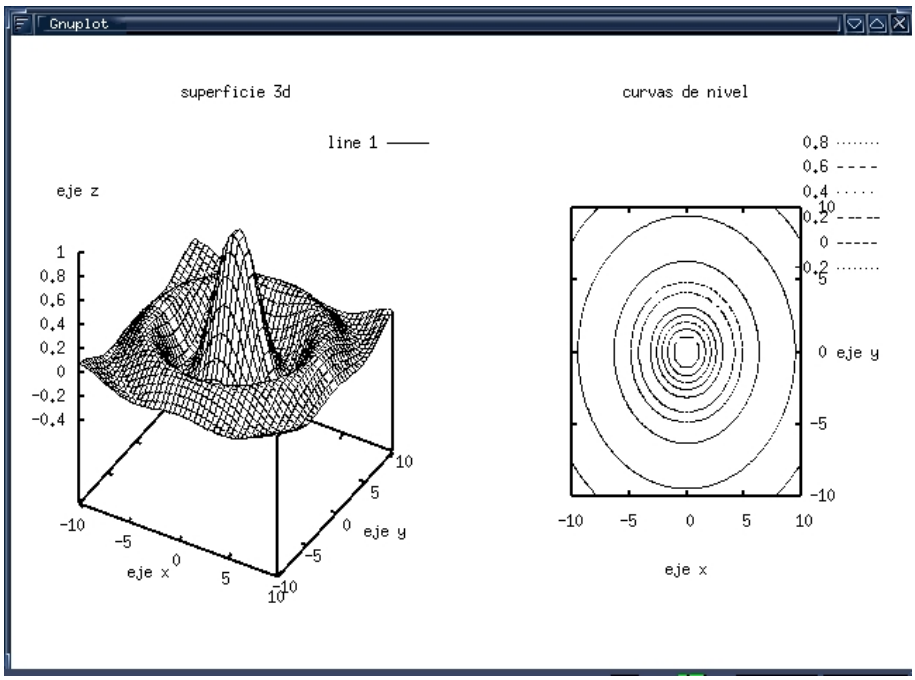


Figura 1.4: Gráficas en tres dimensiones

```
  0  0  3  0
  0  0  0  4

octave:21> inv(c) # inversa de una matriz
ans =
  1.00000  0.00000  0.00000  0.00000
  0.00000  0.50000  0.00000  0.00000
  0.00000  0.00000  0.33333  0.00000
  0.00000  0.00000  0.00000  0.25000

octave:22> det(c) # determinante de una matriz
ans = 24

octave:23> eye(4) # matriz identidad de dimensión 4
ans =
  1  0  0  0
  0  1  0  0
  0  0  1  0
  0  0  0  1

octave:15> ones(2,3) # matriz 2x3 repleta de unos
ans =
```

```
  1  1  1
  1  1  1

octave:16> zeros(1,7) # matriz 1x7 repleta de ceros
ans =

  0  0  0  0  0  0  0

octave:24> rand(4,3) # matriz de números aleatorios 4x3
ans =
  0.85927  0.43700  0.85462
  0.88050  0.27016  0.52905
  0.58098  0.54402  0.29237
  0.41791  0.73324  0.45943

octave:5> randn(3,2) # matriz de números aleatorios gaussiana
ans =

   0.64262  -1.03740
   0.31010  -1.38565
  -0.64096   0.58650

# resta cada elemento con su anterior
octave:7> diff([1 2 4 5 7 9 11 14])
ans =

  1  2  1  2  2  2  3

# encuentra índices elementos no nulos
octave:8> find ([0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 5 0])
ans =

   7  11
# subdivide linealmente el intervalo [1,10] en 8 puntos.
octave:9> linspace (1, 10, 8)
ans =

  1.0000  2.2857  3.5714  4.8571  6.1429  7.4286  8.7143 10.0000

# subdivide logarítmicamente el intervalo [10^0,10^3] en 6 puntos.
octave:13> logspace (0, 3, 6)
ans =

   1.0000   3.9811  15.8489  63.0957  251.1886 1000.0000

# factorización lu de una matriz
```

```
octave:26> [a,b,c]=lu([1,3,2;3,2,1;3,2,6])
a =

  1.00000  0.00000  0.00000
  0.33333  1.00000  0.00000
  1.00000  0.00000  1.00000

b =

  3.00000  2.00000  1.00000
  0.00000  2.33333  1.66667
  0.00000  0.00000  5.00000

c =

  0  1  0
  1  0  0
  0  0  1

octave:27> [a,b,c]=qr([1,3,2;3,2,1;3,2,6]) # factorización QR
a =

  -0.312348  -0.752156  -0.580259
  -0.156174  -0.561851   0.812362
  -0.937043   0.344361   0.058026

b =

  -6.40312  -3.12348  -3.59200
   0.00000  -2.69145  -1.40463
   0.00000   0.00000   2.03091

c =

  0  0  1
  0  1  0
  1  0  0
```

1.8. Ecuaciones diferenciales

Fichero `ode.m`

```
#!/usr/bin/octave

clear;

function xdot = f (x, t)
  xdot = zeros (3,1);
  xdot(1) = 77.27 * (x(2) - x(1)*x(2) + x(1) - 8.375e-06*x(1)^2);
  xdot(2) = (x(3) - x(1)*x(2) - x(2)) / 77.27;
  xdot(3) = 0.161*(x(1) - x(3));
endfunction

# condicion inicial
x0 = [ 4; 1.1; 4 ];
# generación del eje t para la simulacion
t = linspace (0, 50, 100);
# simulacion
y = lsode ("f", x0, t);
hold off;
subplot(3,1,1);
plot(t,y(:,1),';x(1);');
subplot(3,1,2);
plot(t,y(:,2),';x(2);');
subplot(3,1,3);
plot(t,y(:,3),';x(3);');
```

Ejemplo 1.7: Resuelve una EDO ordinaria de tercer orden y muestra por pantalla la evolución de los x(t).

1.9. Polinomios

Un polinomio de grado r en octave se presenta como un vector de dimensiones $r + 1$. A partir de él se pueden realizar operaciones.

```
octave:10> a=[1,2,3]; # a(x)=x^2+2x+3
octave:11> b=[3,2,3,2]; #b(x)=3x^3+2x^2+3x+2
octave:19> polyout(a)
1*s^2 + 2*s^1 + 3
octave:18> polyout(b)
3*s^3 + 2*s^2 + 3*s^1 + 2
octave:20> polyout(conv(a,b)) # producto de polinomios
3*s^5 + 8*s^4 + 16*s^3 + 14*s^2 + 13*s^1 + 6
octave:13> [coc, resto]=deconv([3 8 16 14 13 6],b); # división
octave:24> polyout (coc) # el cociente de la división
1*s^2 + 2*s^1 + 3
octave:25> polyout (resto)         # el resto de la división
0*s^5 + 0*s^4 + 0*s^3 + 0*s^2 + 0*s^1 + 0
```

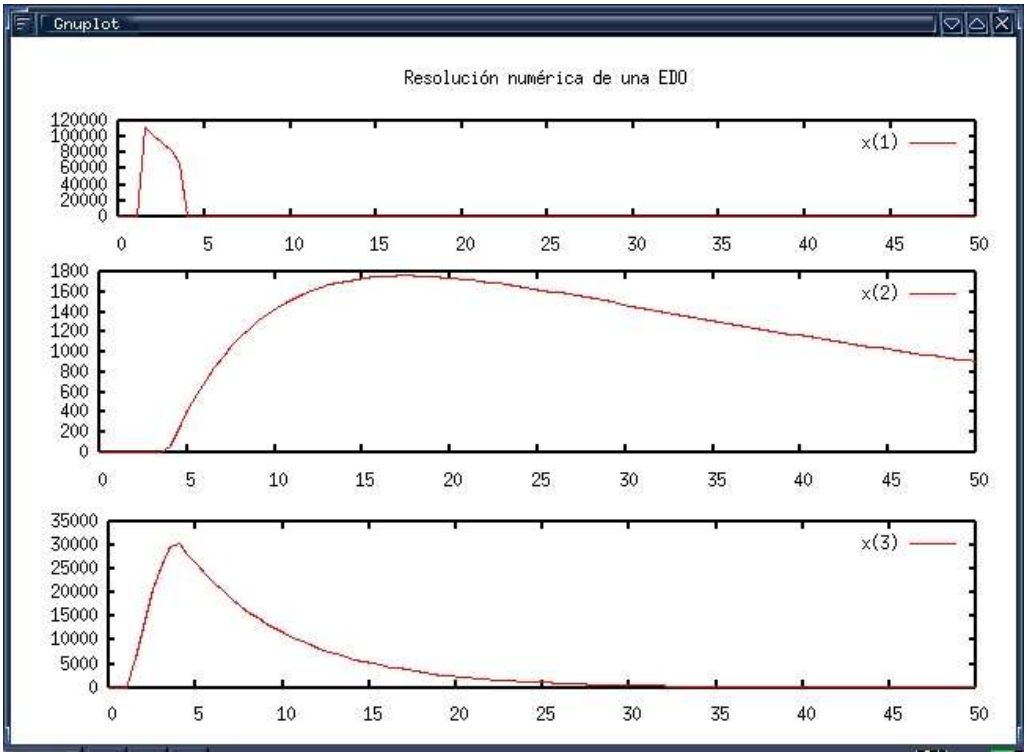


Figura 1.5: Resolución numérica de EDO

```
octave:26> polyout(polyderiv (b))  # la derivada de b(x)
9*s^2 + 4*s^1 + 3
octave:27> polyout(polyinteg (b))  # la integral de b(x)
0.75*s^4 + 0.666667*s^3 + 1.5*s^2 + 2*s^1 + 0
octave:17> polyval (b,2)           # b(x) evaluado en x=2
ans = 40
```

1.10. Teoría de control

La versión 2.1 de octave incorpora una Toolbox de Control. El control es una rama de la ingeniería dedicada a modelar sistemas mediante las ecuaciones diferenciales que relacionan su salida con su entrada y predecir su comportamiento frente a diferentes entradas. En la toolbox se utilizan estructuras para abstraer al usuario el concepto de función de transferencia de un sistema.

1.11. Procesamiento de señales

En esta categoría están todas las funciones dedicadas a trabajar con espectros de señales. Tanto la *FFT*, como filtros digitales *FIR* e *IIR*, diferentes tipos de ventanas, o cálculo de modelos ARMA.

La transformada de Fourier discreta, más conocida por el nombre de su algoritmo FFT (**Fast Fourier Transform**), es la versión discreta y periódica de la transformada exponencial de Fourier. Es una función muy usada en ingeniería y en la vida real. La tomaremos como la función para la ingeniería por antonomasia, y en este ejemplo veremos qué sencillo resulta obtener la transformada de Fourier discreta de una senoidal y un pulso.

Fichero `fftview.m`

```
#!/usr/bin/octave
clear;
hold off;
T=0.1;                      # periodo de muestreo
N=100;                      # numero de muestras
W=3*(2*pi/T);               # frecuencia de la senoidal
A=20*T;                     # ancho del escalon
t=T*[0:N];                  # escala temporal
f=(2*pi/T)*[-N/2:N/2]/N;    # escala en frecuencias
# la primera es la fft de un seno de 20Hz
title("Seno de 20Hz");
x1=sin(2*pi*W*t);
y1=fft(x1)/length(t);
y1=fftshift(y1);
subplot(3,1,1);
clearplot;
plot(t,x1,';sinusoidal;');
subplot(3,1,2);
clearplot;
```

```
plot(f,abs(y1),';modulo;');
subplot(3,1,3);
clearplot;
plot(f,arg(y1),';fase;');
pause(5);
# la segunda es la de un escalon centrado de ancho A sg.
x2=abs(t-T*N/2)<(A/2);
y2=fft(x2)/length(t);
y2=fftshift(y2);
subplot(3,1,1);
clearplot;
plot(t,x2,';escalon;');
subplot(3,1,2);
clearplot;
plot(f,abs(y2),';modulo;');
subplot(3,1,3);
clearplot;
plot(f,arg(y2),';fase;');
```

Ejemplo 1.8: Muestra por pantalla el módulo y la fase de dos funciones: una sinusoidal (que debe dar dos deltas de dirac) y un pulso (que debe dar una sinc).

1.12. Tratamiento de imágenes

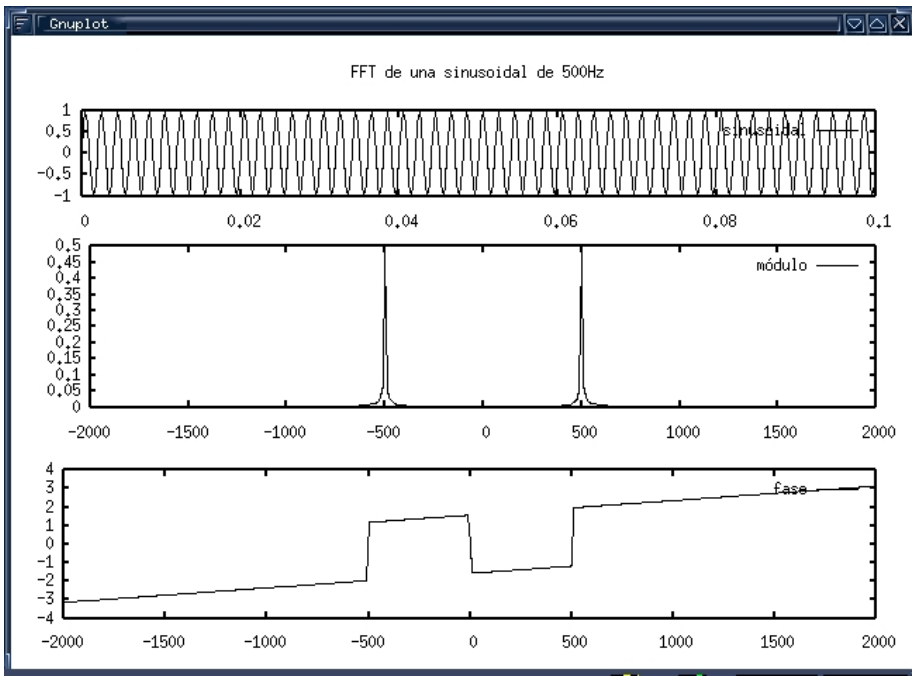
Por último veamos un ejemplo de cómo se pueden cargar, realizar modificaciones, visualizar y salvar imágenes usando las rutinas de octave. Con esto podremos realizar muchas operaciones útiles en procesado, realzado y análisis de imágenes, útiles en muchas áreas de las ciencias.

En primer lugar suponemos sabido que una imagen se puede entender como una matriz donde cada punto tiene un color diferente. Cada punto se llama *píxel*. Hay muchas formas de representar pixeles, y octave maneja tres de ellas, que son las siguientes:

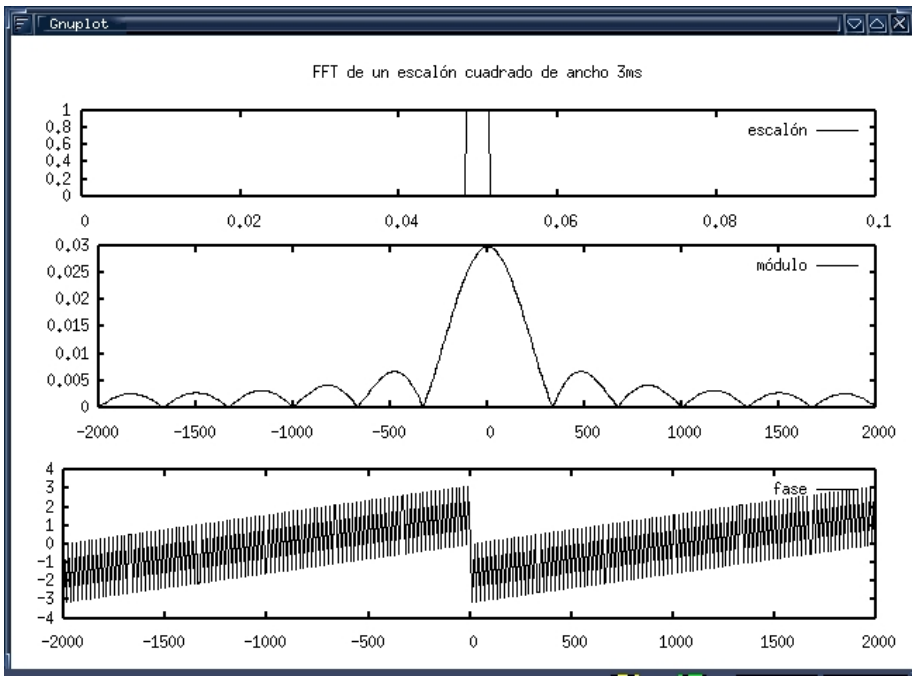
escala de grises En una imagen en escala de grises cada píxel se representa por un valor de punto flotante comprendido entre 0, que significa negro, y 1, que significa blanco. Por tanto, la representación de una imagen es una matriz llena de valores comprendidos entre 0 y 1. En este caso, un valor de 0.5 representaría un color gris que tiene partes iguales de blanco y negro mientras que un valor de 0.2 representaría un color que tiene 20 % de negro y el resto de blanco.

color RGB Cualquier color en la naturaleza se puede aproximar (no es una correspondencia exacta) como suma de sus tres componentes de color, a saber: rojo (R, red), verde (G, green) y azul (B, blue). De esta forma, cada píxel de una imagen en color se puede representar como un terna de valores de sus tres componentes. Por tanto, una imagen en formato RGB son tres matrices del mismo tamaño, donde cada una almacena los valores de una componente.

color indexado Como en una imagen suele haber colores repetidos, esta representación lista por un lado los colores, de manera consecutiva y sin repetirse, y por otro lado los pixels, cuyo color



(a) Ejemplo de FFT aplicado a una sinusoidal

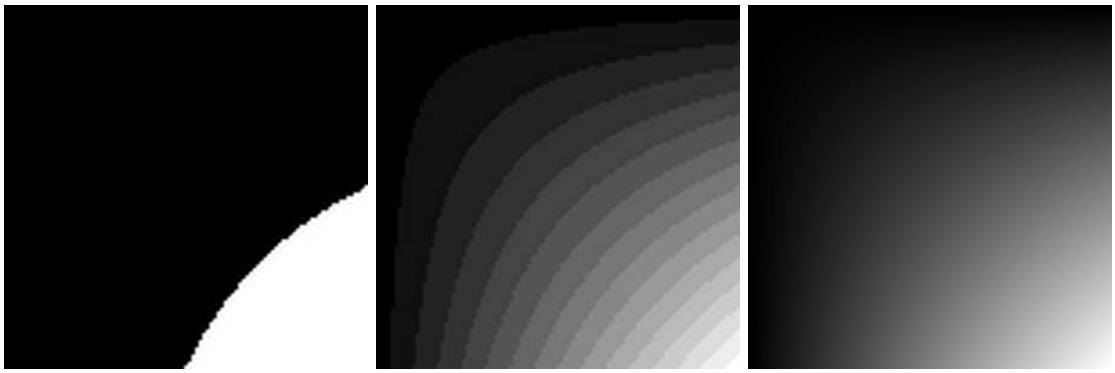


(b) Ejemplo de FFT aplicado a una función escalón

se almacena buscando el valor en la tabla de colores y almacenando el índice correspondiente en el vector.

La función usada para representar imágenes en pantalla es `imshow()`. En primer lugar la usaremos para representar valores en escala de grises. Vamos a probar creando una matriz que tenga variedad de valores y presentándola. Veamos el ejemplo de uso de esta función:

```
octave:15> a=0:0.01:1;
octave:16> ma=a'*a;
octave:17> imshow(ma,2)
octave:18> imshow(ma,16)
octave:19> imshow(ma,256)
```



(c) 2 niveles (d) 16 niveles (e) 256 niveles

Figura 1.6: El gradiente anterior visualizado a varios niveles de gris

Observando la matriz `ma` observamos que todos sus valores están en el rango $[0, 1]$. Si vemos su tamaño, vemos que es 100x100. Las diferentes llamadas a `imshow` se diferencian en el segundo parámetro que representa el número de colores discretos en el que presentará la imagen continua. En el primer caso veremos solamente dos colores, en la segunda 16 y en la tercera 256.

Probemos ahora a trabajar con una imagen en color. La función `loadimage()` se utiliza para cargar imágenes de un archivo. Las imágenes se devuelven en formato indexado, donde `c` representará la matriz y `cmap` representará los colores. Veamos el ejemplo:

```
octave:26> [c,cmap]=loadimage("tux.img");
octave:27> imshow(c,cmap)
```

Como verás, se visualiza con la misma función. Ahora, usemos esta imagen como base para jugar un poco. Primero, transformémosla a un formato más manejable. Empezaremos pasándola a `RGB` con la función `ind2rgb` transforma la imagen de indexada a RGB. Luego, con `imshow` la representaremos.

```
ctave:28> [r,g,b]=ind2rgb (c,cmap);
octave:29> imshow(r,g,b)
octave:30> imshow(g,r,b)
octave:31> imshow(b,g,r)
```

(a) `imshow(r,g,b)` (b) `imshow(g,r,b)` (c) `imshow(b,g,r)`

Figura 1.7: Los colores de la imagen vienen representados por sus componentes RGB. Si se invierten, los colores cambian.

Observamos que cada canal contiene sus valores, y cambiando el orden hacemos creer a imshow que los valores son diferentes y nos muestra imágenes con los colores trasladados. Podemos probar también sustituyendo las matrices `r`, `g` o `b` por unos o ceros y comprobar el efecto de quitar o añadir canales. El trabajo con imágenes RGB es complejo, así que usaremos una imagen en escala de grises para seguir efectuando nuestras pruebas.

```
octave:32> g=ind2gray (c,cmap);
octave:35> imshow(g,2)
octave:36> imshow(g,4)
octave:37> imshow(g,16)
octave:65> imshow(g,256)
```

Comenzaremos los análisis con un filtrado/realzado. Estas operaciones se realizan barriendo todos los píxels de la imagen y creando una nueva imagen donde cada píxel es una ponderación de los valores de cada píxel y sus vecinos según unas matrices preestablecidos. Las matrices

$$\frac{1}{5}\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Filtro pasa-baja Filtro pasa-alta Detector de bordes

Ahora veamos como se aplicaría un filtro. Este filtro es el primero, que genera una imagen donde cada píxel es un promedio entre el correspondiente en la imagen original y sus cuatro vecinos por cada lado.

```
octave:41> h=zeros(256,256);
octave:42> for i=2:255;
>             for j=2:255;
>                h(i,j)=(g(i,j)+g(i-1,j)+g(i+1,j)+ \
>                       g(i,j-1)+g(i,j+1))/5;
>             endfor;
>          endfor;
octave:43> imshow(g,256)
octave:44> imshow(h,256)
```

Mostrando la imagen original y retocada comprobamos que el efecto que tiene es el de suavizar los bordes de la imagen, el de emborronarla.

Habrás notado que has tenido que esperar un rato (según la velocidad de tu máquina) durante un buen rato para ver el resultado. Este procedimiento es optimizable atendiendo a las especiales características de manejo de matrices de octave. En vez de hacer las operaciones elemento a elemento con sus superiores, inferiores, izquierdo y derecho, podemos hacerlas globalmente, simplemente trabajando con las matrices completas y operando con ellas con sus desplazadas una posición hacia arriba, abajo, izquierda y derecha. El ejemplo esta aquí y comprobarás que el resultado es notablemente más rápido.

```
octave:44> i=2:255;
octave:45> h=(g(i,i)+g(i-1,i)+g(i+1,i)+g(i,i-1)+g(i,i+1))/5;
octave:46> imshow(g,256)
octave:47> imshow(h,256)
```

Comprobemos ahora los otros dos filtros. El siguiente filtro pasa-alta se implementaría así. El resultado, al contrario que el anterior, acentúa los bordes en la imagen, resultando los pequeños detalles más destacados a simple vista.

```
octave:44> i=2:255;
octave:45> h=5*g(i,j)-g(i-1,j)-g(i+1,j)-g(i,j-1)-g(i,j+1);
octave:46> imshow(g,256)
octave:47> imshow(h,256)
```

Y por último, el detector de bordes, que lo que hace es presentar de color blanco las zonas que en la imagen original tienen cambios más rápidos, mientras que las zonas más homogéneas las presenta en negro. Con esto, conseguimos detectar bordes acusados en la imagen.

```
octave:44> i=2:255;
octave:45> h=5*g(i,j)-g(i-1,j)-g(i+1,j)-g(i,j-1)-g(i,j+1);
octave:46> imshow(g,256)
octave:47> imshow(h,256)
```

(a) Imagen original (b) Filtro pasa-baja (c) Filtro pasa-alta

Figura 1.8: Cuando aplicamos un filtro pasa-baja se suaviza la imagen y si aplicamos un pasa-alta, sus detalles se acentúan.

Figura 1.9: Imagen tras aplicar detector de bordes.