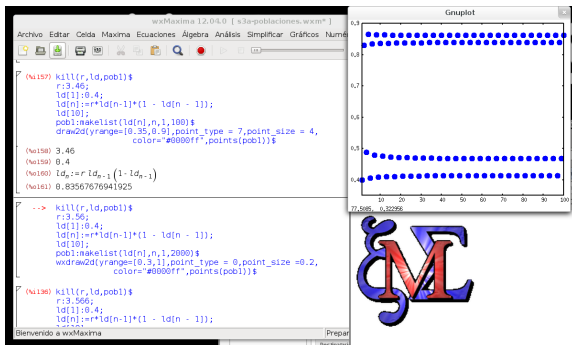


CÁLCULO DIFERENCIAL EN \mathbb{R}^n con MAXIMA

Grado en Matemáticas

Renato Álvarez-Nodarse
Universidad de Sevilla

<http://euler.us.es/~renato/clases.html>



MAXIMA: programa simbólico/numérico con con licencia GNU/GPL accesibles por internet en

- <http://maxima.sourceforge.net>

Como intérprete de MAXIMA usaremos wxMAXIMA

Buscar el icono  para comenzar

MAXIMA es un programa que funciona como una calculadora científica. Las operaciones aritméticas elementales son las habituales: + suma, - resta, * multiplicación, / división, ^ potencias:

```
(%i1) 2+2; 3-3; 2*3; 5/10; 3^3;
```

```
(%o1) 4
```

```
(%o2) 0
```

```
(%o3) 6
```

```
(%o4) 1/2
```

```
(%o5) 27
```

MAXIMA es un programa que funciona como una calculadora científica. Las operaciones aritméticas elementales son las habituales: + suma, - resta, * multiplicación, / división, ^ potencias:

```
(%i1) 2+2; 3-3; 2*3; 5/10; 3^3;
```

```
(%o1) 4
```

```
(%o2) 0
```

```
(%o3) 6
```

```
(%o4) 1/2
```

```
(%o5) 27
```

Dado que MAXIMA es un programa de cálculo *simbólico*, trabaja con variables definidas por letras:

```
(%i6) e;
```

```
(%o6) e
```

Las funciones (comandos) tienen el argumento (o los argumentos) que van entre paréntesis, como por ejemplo el comando `float(x)` que nos da como resultado el valor numérico de la variable x .

```
(%i7) float(e);
```

```
(%o7) e
```

```
(%i8) pi;
```

```
(%o8) pi
```

```
(%i9) float(pi);
```

```
(%o9) pi
```

por lo que su respuesta es la propia variable.

Para los valores numéricos de las constantes e o π MAXIMA usa

```
(%i10) %e;
```

```
(%o10) %e
```

```
(%i11) float(%e);
```

```
(%o11) 2.718281828459045
```

El orden de realización de las operaciones es el habitual. Así en la expresión

```
(%i18) (2+3^2)^3*(5+2^2);
```

```
(%o18) 11979
```

primero calcula las potencias dentro de cada paréntesis, luego las sumas, luego las potencias externas y finalmente la multiplicación.

El orden de realización de las operaciones es el habitual. Así en la expresión

```
(%i18) (2+3^2)^3*(5+2^2);  
(%o18) 11979
```

primero calcula las potencias dentro de cada paréntesis, luego las sumas, luego las potencias externas y finalmente la multiplicación.

Para definir los valores de las variables se usan los dos puntos

```
(%i19) x:123; y:321; x*y; x/y; x-y;  
  
(%i26) z=2;  
(%i27) z;  
(%i28) x;  
(%i29) y;  
(%i30) x*y;  
(%i31) x+z;
```


También es posible definir funciones. Hay múltiples formas en función de lo queramos hacer.

```
(%i32) f(x) := x^2 - x + 1;
```

```
(%i33) f(%pi);
```

Nótese que a no ser que pidamos a MAXIMA que trabaje numéricamente, sigue usando cálculo simbólico

```
(%i35) float(f(%pi));
```

También es posible definir funciones. Hay múltiples formas en función de lo queramos hacer.

```
(%i32) f(x) := x^2 - x + 1;
```

```
(%i33) f(%pi);
```

Nótese que a no ser que pidamos a MAXIMA que trabaje numéricamente, sigue usando cálculo simbólico

```
(%i35) float(f(%pi));
```

Otro detalle interesante a tener en cuenta es que MAXIMA contiene una ayuda completa que puede ser invocada desde la línea de comandos. Para ello escribimos ?? delante del comando *desconocido*

```
(%i36) ??float;
```

Si no existe ningún comando con ese nombre la respuesta es false

```
(%i37) ??renato;
```

Otra de las opciones de MAXIMA es su potencia gráfica. Para hacer las gráficas MAXIMA usa GNUPLOT, un potente paquete gráfico GNU. El comando más sencillo de usar es `plot2d`.

```
(%i39) wxplot2d([f(x)], [x,-5,5]);
```

Es conveniente asegurarse que variable x no tiene asignado ningún valor.

Otra de las opciones de MAXIMA es su potencia gráfica. Para hacer las gráficas MAXIMA usa GNUPLOT, un potente paquete gráfico GNU. El comando más sencillo de usar es `plot2d`.

```
(%i39) wxplot2d([f(x)], [x,-5,5]);
```

Es conveniente asegurarse que variable x no tiene asignado ningún valor.

Podemos representar varias funciones

```
(%i41) plot2d([f(xx),2*sin(xx),atan(xx)], [xx,-2,2])$
```

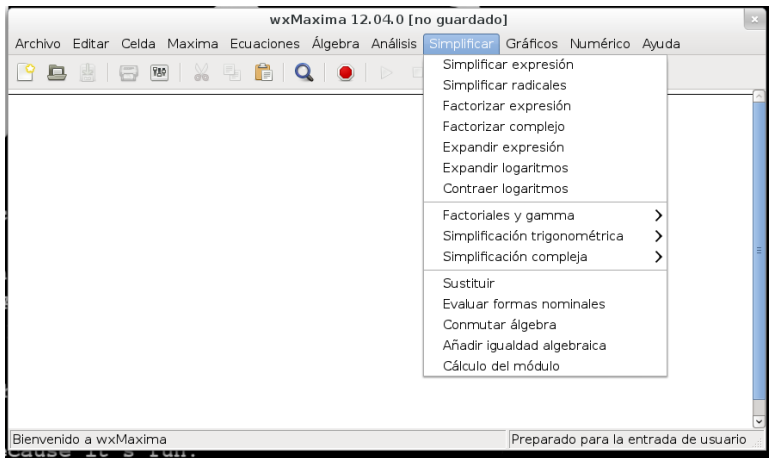
MAXIMA también dispone de una gran cantidad de funciones *elementales*, **exponencial**, **logaritmo**, **trigonométricas**, etc. Además las trata de forma simbólica.

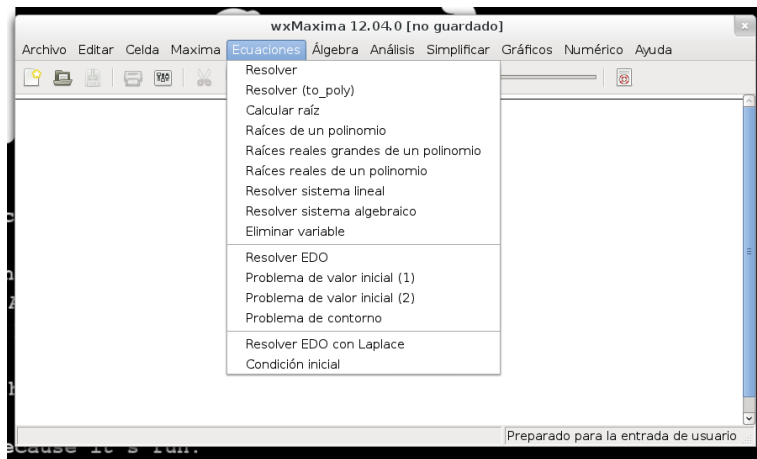
```
(%i42) log(10);
```

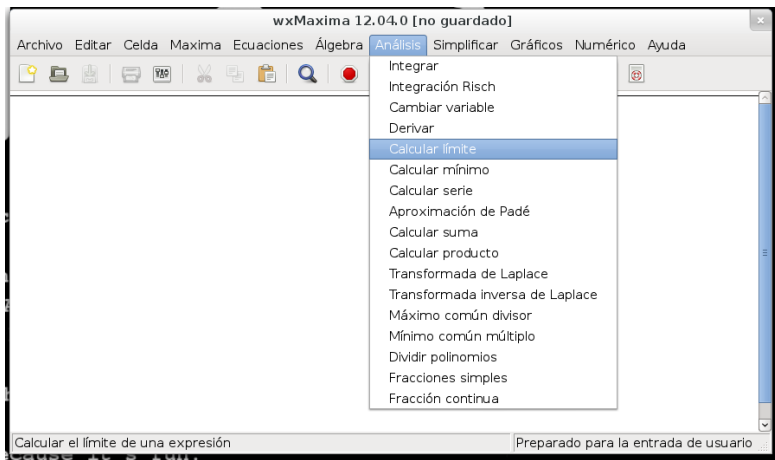
```
(%i43) float(%);
```

```
(%i44) log(%e);
```

¿Qué más podemos hacer?







¡Y un sinfín de cosas más!

En la web de la asignatura buscar el apartado: Software Libre de Matemáticas

<http://euler.us.es/~renato/clases.html#maxima>

Calculando derivadas. El comando para calcular derivadas es `diff(f(x),x,k)` donde $f(x)$ es la función a la que le vamos a calcular la derivada k -ésima respecto a la variable x :

```
(%i56) diff(sin(x^2+2),x);
```

```
(%o56) 2*x*cos(x^2+2)
```

```
(%i57) diff(x^x, x,3);
```

```
(%o57) x^(x-1)*(log(x)+(x-1)/x)+x^x*(log(x)+1)^3  
      +2*x^(x-1)*(log(x)+1)
```

```
(%i58) diff(sin(x)^x, x);
```

```
(%o58) sin(x)^x*(log(sin(x))+(x*cos(x))/sin(x))
```

Calculando derivadas. El comando para calcular derivadas es `diff(f(x),x,k)` donde $f(x)$ es la función a la que le vamos a calcular la derivada k -ésima respecto a la variable x :

```
(%i56) diff(sin(x^2+2),x);  
(%o56) 2*x*cos(x^2+2)  
(%i57) diff(x^x, x,3);  
(%o57) x^(x-1)*(log(x)+(x-1)/x)+x^x*(log(x)+1)^3  
      +2*x^(x-1)*(log(x)+1)  
(%i58) diff(sin(x)^x, x);  
(%o58) sin(x)^x*(log(sin(x))+(x*cos(x))/sin(x))
```

Veamos que podemos hacer en \mathbb{R}^n .

MAXIMA también dibuja gráficas 3D con el comando `plot3d` cuya sintaxis es

```
plot3d([fun1,fun2,...],[var1,ini,fin],[var2,ini,fin],...)
```

```
(%i62) kill(f,x,y)$  
      f(x,y):= sin(x) + cos(y);  
      wxplot3d(f(x,y), [x,-5,5], [y,-5,5])$
```

MAXIMA también dibuja gráficas 3D con el comando `plot3d` cuya sintaxis es

```
plot3d([fun1,fun2,...],[var1,ini,fin],[var2,ini,fin],...)
```

```
(%i62) kill(f,x,y)$  
      f(x,y):= sin(x) + cos(y);  
      wxplot3d(f(x,y), [x,-5,5], [y,-5,5])$
```

Para que MAXIMA reconozca el directorio local de trabajo (lo que es conveniente para importar y exportar ficheros) es conveniente definir la variable `file_search_maxima`.

La forma más sencilla de definirlo es mediante la opción “Añadir a ruta” en la pestaña “Maxima” del menú del programa.

Cálculo diferencial de funciones de varias variables

Problema: Sea la función $f : \mathbb{R}^2 \mapsto \mathbb{R}$, $f(x, y) = x^2y^3$.

Representarla gráficamente. Calcular sus derivadas parciales hasta orden dos. Calcular la derivada direccional en el punto $a = (1, 3)$ según el vector $v = (2, -1)$.

Problema: Sea la función $f : \mathbb{R}^2 \mapsto \mathbb{R}$, $f(x, y) = x^2y^3$.

Representarla gráficamente. Calcular sus derivadas parciales hasta orden dos. Calcular la derivada direccional en el punto $a = (1, 3)$ según el vector $v = (2, -1)$.

Primero cargamos el programa de representaciones gráficas draw

```
(%i1) load(draw)$
```

Luego definimos la función

```
(%i2) define(f(x,y),x^2*y^3);
```

```
(%o2) f(x,y):=x^2*y^3
```

Representamos a $f(x, y)$

```
(%i3) draw3d( xu_grid = 100, color = cyan,  
explicit(f(x,y), x,-3,3,y,-3,3),  
point_type=filled_circle, point_size = 3,  
color = black, points([[0,0,0]]),  
color = red, points([[1,2,f(1,2)]]) )$
```

Calculamos todas las **derivadas parciales** hasta orden dos

```
(%i4) diff(f(x,y),x); diff(f(x,y),y);
```

```
(%o4) 2*x*y^3
```

```
(%o5) 3*x^2*y^2
```

```
(%i6) diff(f(x,y),x,1,y,1); diff(f(x,y),y,1,x,1);
```

```
(%o6) 6*x*y^2
```

```
(%o7) 6*x*y^2
```

```
(%i8) diff(f(x,y),x,2); diff(f(x,y),y,2);
```

```
(%o8) 2*y^3
```

```
(%o9) 6*x^2*y
```


Calculamos todas las **derivadas parciales** hasta orden dos

```
(%i4) diff(f(x,y),x); diff(f(x,y),y);  
(%o4) 2*x*y^3  
(%o5) 3*x^2*y^2  
(%i6) diff(f(x,y),x,1,y,1); diff(f(x,y),y,1,x,1);  
(%o6) 6*x*y^2  
(%o7) 6*x*y^2  
(%i8) diff(f(x,y),x,2); diff(f(x,y),y,2);  
(%o8) 2*y^3  
(%o9) 6*x^2*y
```

Calculamos la **matriz jacobiana** y la **hessiana** con las órdenes

```
jacobian([f1,...,fn],[x1,...,xk])  
hessian(f(x1,...,xn),[x1,...,xk])
```

```
(%i10) jacobian([f(x,y)],[x,y]);  
(%o10) matrix([ 2*x*y^3 , 3*x^2*y^2 ])  
(%i11) hessian(f(x,y),[x,y]);  
(%o11) matrix([ 2*y^3 , 6*x*y^2 ] , [ 6*x*y^2 , 6*x^2*y ])
```

Definimos la norma en \mathbb{R}^2

```
(%i12) define(norm2(vv),sqrt(sum(vv[k]^2,k,1,2)));  
(%o12) norm2(vv):=sqrt(vv[2]^2+vv[1]^2)
```

Definimos la norma en \mathbb{R}^2

```
(%i12) define(norm2(vv),sqrt(sum(vv[k]^2,k,1,2)));  
(%o12) norm2(vv):=sqrt(vv[2]^2+vv[1]^2)
```

Definimos el vector normalizado $u = v/\|v\|$

```
(%i13) v:[2,-1]$ vec:v/norm2(v);  
(%o14) [2/sqrt(5),-1/sqrt(5)]
```

Definimos la norma en \mathbb{R}^2

```
(%i12) define(norm2(vv),sqrt(sum(vv[k]^2,k,1,2)));  
(%o12) norm2(vv):=sqrt(vv[2]^2+vv[1]^2)
```

Definimos el vector normalizado $u = v/\|v\|$

```
(%i13) v:[2,-1]$ vec:v/norm2(v);  
(%o14) [2/sqrt(5),-1/sqrt(5)]
```

Calculamos la matriz jacobiana de f

```
(%i15) gra:jacobian([f(x,y)],[x,y]);  
(%o15) matrix([2*x*y^3,3*x^2*y^2])
```

Definimos la norma en \mathbb{R}^2

```
(%i12) define(norm2(vv),sqrt(sum(vv[k]^2,k,1,2)));  
(%o12) norm2(vv):=sqrt(vv[2]^2+vv[1]^2)
```

Definimos el vector normalizado $u = v/\|v\|$

```
(%i13) v:[2,-1]$ vec:v/norm2(v);  
(%o14) [2/sqrt(5),-1/sqrt(5)]
```

Calculamos la matriz jacobiana de f

```
(%i15) gra:jacobian([f(x,y)],[x,y]);  
(%o15) matrix([2*x*y^3,3*x^2*y^2])
```

Calculamos la derivada direccional de f según u en el punto a ;
 $D_u f(a) = \langle \nabla f(a), u \rangle$

```
(%i16) gra.vec; ev(%,x=1,y=2);  
(%o16) (4*x*y^3)/sqrt(5)-(3*x^2*y^2)/sqrt(5)  
(%o17) 4*sqrt(5)
```

1. Calcula la derivada de f en a según la dirección v :

❶ $f(x, y) = xe^{xy}$; $a = (1, -1)$; $v = (1, 1)$.

❷ $f(x, y, z) = (x/y)^z$; $a = (1, 1, 1)$; $v = (2, 1, -1)$.

❸ $f(x, y) = (x^2 + y^2)^x$; $a = (e, 0)$; $v = (1, -1)$.

2. Calcula la matriz jacobiana de la función $f : \mathbb{R}^2 \mapsto \mathbb{R}^2$, y evalúala en $(x, y) = (\sqrt{\pi}, 1)$

$$f(x, y) = \left(\arctan \left(\frac{x+y}{1-xy} \right), \tan \left(\frac{x^2}{y} \right) \right);$$

3. Estudia el límite (rectas, parábolas, etc). ¿Es diferenciable en $(0, 0)$?

$$\lim_{(x,y) \rightarrow (0,0)} \arctan \left(\frac{y^4 + x^4}{y^2 + x^2} \right)$$

Solución Ej. 3: Dibujando la función $g(x,y) = \arctan\left(\frac{y^4+x^4}{y^2+x^2}\right)$

```
draw3d( enhanced3d=false, xu_grid=100, color=green,  
explicit(g(x,y), x,-3,3,y,-3,3),  
point_type=filled_circle, point_size = 3,  
color = black, points([[0,0,0]]) )$
```

Solución Ej. 3: Dibujando la función $g(x,y) = \arctan\left(\frac{y^4+x^4}{y^2+x^2}\right)$

```
draw3d( enhanced3d=false, xu_grid=100, color=green,  
explicit(g(x,y), x,-3,3,y,-3,3),  
point_type=filled_circle, point_size = 3,  
color = black, points([[0,0,0]]) )$
```

```
draw3d (view = [111, 40], xu_grid=100, color=cyan,  
explicit(g(x,y), x,-.3,.3,y,-.3,.3),  
point_type=filled_circle, point_size = 3,  
color = black, points([[0,0,0]]) )$
```


Solución Ej. 3: Dibujando la función $g(x,y) = \arctan\left(\frac{y^4+x^4}{y^2+x^2}\right)$

```
draw3d( enhanced3d=false, xu_grid=100, color=green,
explicit(g(x,y), x,-3,3,y,-3,3),
point_type=filled_circle, point_size = 3,
color = black, points([[0,0,0]]) )$
```

```
draw3d (view = [111, 40], xu_grid=100, color=cyan,
explicit(g(x,y), x,-.3,.3,y,-.3,.3),
point_type=filled_circle, point_size = 3,
color = black, points([[0,0,0]]) )$
```

“Investigando” gráficamente la diferenciabilidad

```
draw3d (view = [111, 40], xu_grid = 100, color = cyan,
explicit(g(x,y)/sqrt(x^2+y^2), x,-.3,.3,y,-.3,.3),
point_type=filled_circle, point_size = 3,
color = black,points([[0,0,0]]) )$
```

4. Investiga la diferenciabilidad de la función $f(x,y) = \frac{xy}{y^2 + x^2}$

```
(%i77) f(x,y):=if x^2+y^2=0 then 0 else x*y/(y^2+x^2);
(%o77) f(x,y):=if x^2+y^2=0 then 0 else (x*y)/(y^2+x^2)
(%i78) f(0,0); f(2,1);
(%o78) 0
(%o79) 2/5
(%i80) draw3d ( xu_grid = 100, color = green,
explicit(f(x,y), x,-1,1,y,-1,1),
point_type=filled_circle, point_size = 3,
color = black, points([[0,0,0]]) )$
```

5. Idem para $f(x,y) = \frac{x^2y^2}{y^2 + x^2}$ y $g(x,y) = \frac{y^4}{y^2 + x^2}$.

Calcula además las derivadas parciales de orden 2.

Conviene reiniciar MAXIMA

Conviene reiniciar MAXIMA

```
(%i1) load(draw)$
```

Escojamos un ejemplo simple: $f(x, y) = 1 - (x^2 + y^2)$

```
o(%i2) define(f(x,y),1-(x^2+y^2));
```

```
(%o2) f(x,y):=-y^2-x^2+1
```

```
(%i3) define(dx f(x,y),diff(f(x,y),x));
```

```
define(dy f(x,y),diff(f(x,y),y));
```

```
(%o3) dx f(x,y):=-2*x
```

```
(%o4) dy f(x,y):=-2*y
```

Conviene reiniciar MAXIMA

```
(%i1) load(draw)$
```

Escojamos un ejemplo simple: $f(x, y) = 1 - (x^2 + y^2)$

```
o(%i2) define(f(x,y), 1-(x^2+y^2));
```

```
(%o2) f(x,y) := -y^2 - x^2 + 1
```

```
(%i3) define(dxf(x,y), diff(f(x,y), x));
```

```
define(dyf(x,y), diff(f(x,y), y));
```

```
(%o3) dxf(x,y) := -2*x
```

```
(%o4) dyf(x,y) := -2*y
```

Escribimos la ecuación del plano

```
(%i5) a:-1$ b:1$ xmin:a-1$ xmax:a+1$ ymin:b-1$ ymax:b+1$
```

```
z=f(a,b)+dxf(a,b)*(x-a)+dyf(a,b)*(y-b);
```

```
define(plano(x,y), f(a,b)+dxf(a,b)*(x-a)+dyf(a,b)*(y-b));
```

```
(%o11) z=-2*(y-1)+2*(x+1)-1
```

```
(%o12) pla(x,y) := -2*(y-1)+2*(x+1)-1
```

Y dibujamos

```
(%i12) draw3d(color=blue,  
explicit(f(x,y),x,xmin-1,xmax+1,y,ymin-1,ymax+1),  
color=green, xu_grid = 100,  
parametric_surface(x,y,pla(x,y),x,xmin,xmax,y,ymin,ymax),  
point_type=filled_circle, point_size = 3,  
color = black,points([[a,b,f(a,b)]]))$
```

Ejercicio: Encontrar los planos tangente en los puntos dados de las funciones siguientes y representarlos gráficamente:

- 1 $f(x, y) = \frac{x^2 y^2}{y^2 + x^2}$ en $a = (-1, 1)$;
- 2 $f(x, y) = x^2/2 - y^2$ en $a = (2, 1)$;
- 3 $f(x, y) = \arctan(x^2 + y^2)$ en $a = (0, 1)$;
- 4 $f(x, y) = (x^2 + y^2) \sin(x^2 + y^2)$ en $(0, 0)$ y $(\sqrt{\pi}, 0)$.

Ejemplo: Calcular f_r y f_t , si $f(x, y) = x^2 + y^2$ y $x = r \operatorname{sen} t$,
 $y = r \operatorname{cos} t$.

Tenemos $f : \mathbb{R}^2 \mapsto \mathbb{R}$, $f(x, y) = x^2 + y^2$ y $g : \mathbb{R}^2 \mapsto \mathbb{R}^2$,
 $g(r, t) = [r \operatorname{sen} t, r \operatorname{cos} t] \Rightarrow h(r, t) = (f \circ g)(r, t) = r^2 \Rightarrow$
 $Dh(r, t) = [2r, 0]$

Ejemplo: Calcular f_r y f_t , si $f(x, y) = x^2 + y^2$ y $x = r \operatorname{sen} t$,
 $y = r \operatorname{cos} t$.

Tenemos $f : \mathbb{R}^2 \mapsto \mathbb{R}$, $f(x, y) = x^2 + y^2$ y $g : \mathbb{R}^2 \mapsto \mathbb{R}^2$,
 $g(r, t) = [r \operatorname{sen} t, r \operatorname{cos} t] \Rightarrow h(r, t) = (f \circ g)(r, t) = r^2 \Rightarrow$
 $Dh(r, t) = [2r, 0]$ Hagámoslo con MAXIMA.

Ejemplo: Calcular f_r y f_t , si $f(x, y) = x^2 + y^2$ y $x = r \sin t$,
 $y = r \cos t$.

Tenemos $f : \mathbb{R}^2 \mapsto \mathbb{R}$, $f(x, y) = x^2 + y^2$ y $g : \mathbb{R}^2 \mapsto \mathbb{R}^2$,
 $g(r, t) = [r \sin t, r \cos t] \Rightarrow h(r, t) = (f \circ g)(r, t) = r^2 \Rightarrow$
 $Dh(r, t) = [2r, 0]$ Hagámoslo con MAXIMA.

Definimos la función f , calculamos su matriz jacobiana $Df(a, x)$ y la evaluamos en la función interior $g(r, t)$

```
(%i1) define(f(x,y),x^2+y^2);
(%i2) jf:jacobian([f(x,y)],[x,y]);
(%i3) jfe:ev(jf,x=r*sin(t),y=r*cos(t));
```

Calculamos la matriz jacobiana de g , $Dg(r, t)$, y calculamos la matriz jacobiana de h , $Dh(r, t) = Df(x(r, t), y(r, t)) \cdot Dg(r, t)$

```
(%i4) jg:jacobian([r*sin(t),r*cos(t)],[r,t]);
(%i5) jfe.jg; trigsimp(%);
(%o7) matrix([2*r,0])
```

Calcular las derivadas parciales de las funciones compuestas:

a) $f(x, y) = \exp(xy)$; $x = u + v$, $y = u - v$.

b) $f(x, y) = x^2 - \log y$; $x = \log t$, $y = t^2$.

Calcular las derivadas parciales de las funciones compuestas:

a) $f(x, y) = \exp(xy)$; $x = u + v$, $y = u - v$.

b) $f(x, y) = x^2 - \log y$; $x = \log t$, $y = t^2$.

c) Sea $g : \mathbb{R}^3 \mapsto \mathbb{R}$ una función tal que $g(0, 1, 1) = 0$ y cuya matriz jacobiana en $a = (0, 1, 1)$ es $Dg(a) = (1, 2, 1)$. Sea $h : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}^3$, $h(t) = (\arctan t^2, e^t, \cos t)$. Encontrar la matriz jacobiana de $h \circ g$ en $a = (0, 1, 1)$ y la de $g \circ h$ en $t = 0$.

$g : \mathbb{R}^3 \mapsto \mathbb{R}$ es tal que $g(0, 1, 1) = 0$ y $Dg(0, 1, 1) = (1, 2, 1)$.

$h : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}^3$ está definida por $h(t) = (\arctan t^2, e^t, \cos t)$.

Definimos la matriz jacobiana de $h(t)$

```
define(jach(t), jacobian([atan(t^2), exp(t), cos(t)], [t]));
```

y la matriz jacobiana de g en $a = (0, 1, 1)$

```
(%i9) jacg:[1,2,1];
```

Usamos que

$$D(h \circ g)(t) = Dh(y) \Big|_{y=g(0,1,1)} \cdot Dg(0, 1, 1), \quad D(g \circ h)(t) = Dg(y) \Big|_{y=h(0)} \cdot Dh(0)$$

```
(%i10) jachg:jach(0).jacg;
```

```
(%i11) jacgh:jacg.jach(0);
```

Utilizar la fórmula de Taylor (de orden 2) para desarrollar las siguientes funciones en los puntos indicados hasta orden dos:

$$f(x, y) = y^2/x^3 \quad \text{en } (1, -1)$$

$$g(x, y) = \log(x^2 + 2 * y^2) \quad \text{en } (1, 1)$$

$$h(x, y) = (x^2 + 3y^2) \exp(1 - x^2 - y^2) \quad \text{en } (0, 0)$$

$$l(x, y) = x^3 + y^2 + xy^2 \quad \text{en } (1, 2)$$

$$q(x, y, z) = e^{a(x+y+z)} \quad \text{en } (0, 0, 0)$$

Solución usar el comando `taylor`

`taylor(function , variables , vector, orden)`

donde `funcion` es la función a desarrollar, `variables` son las variables (escritas como una lista), `vector` es el punto alrededor del cual hacemos el desarrollo hasta orden definido por `orden`.

Por ejemplo

```
(%i7) define(f(x,y),x*exp(y)+y*sin(2*x));  
(%o7) f(x,y):=x*e^y+sin(2*x)*y  
(%i8) taylor (f(x,y) , [x, y], [0,0], 2)$ expand(%);  
(%o9) 3*x*y+x  
(%i10) taylor (f(x,y) , [x, y], [0,0], 5)$ expand(%);  
(%o11) (x*y^4)/24+(x*y^3)/6+(x*y^2)/2-(4*x^3*y)/3+3*x*y+x
```

Hay otras variantes de este comando cuya salida no es exactamente el polinomio de Taylor del orden dado.

Ejercicio: Dibuja cada una de las funciones anteriores junto a su polinomio de Taylor de orden 2.

Ejemplo: Estudiar los extremos de $f(x, y) = (x + y)e^{-x^2 - y^2}$.

Ejemplo: Estudiar los extremos de $f(x, y) = (x + y)e^{-x^2 - y^2}$.

Comenzamos definiendo la función y encontrando los puntos críticos:

```
(%i1) define(f(x,y), (x+y)*exp(-x^2-y^2))
eq1:diff(f(x,y),x);
(%i3) eq2:diff(f(x,y),y);
(%i4) sol:solve([eq1,eq2],[x,y]);
(%o4) [[x=1/2,y=1/2],[x=-1/2,y=-1/2]]
```

Un dibujo nos muestra que efectivamente tenemos máximo y mínimo locales (el segundo es un dibujo de contorno):

```
(%i5) plot3d(f(x,y), [x,-1.1,1.1], [y,-1.1,1.1]);
(%i6) plot3d (f(x,y), [x,-2,2], [y,-2,2], [zlabel,""],
[mesh_lines_color,false], [elevation,0], [azimuth,0],
color_bar, [grid,80,80], [zticks,false], [color_bar_ticks,1]);
```


Vamos a comprobarlo con el hessiano

```
(%i7) hes:hessian(f(x,y),[x,y]);  
(%i8) h1:ev(hes,sol[1]);  
(%o8) matrix([-3/sqrt(%e),-1/sqrt(%e)],  
[-1/sqrt(%e),-3/sqrt(%e)])  
(%i9) eigenvalues(h1);determinant(h1);  
(%o9) [[-4/sqrt(%e),-2/sqrt(%e)], [1,1]]  
(%o10) 8*%e^-1
```

De lo anterior se sigue que en $(1/2, 1/2)$ hay un máximo ya que la matriz hessiana es definida negativa. Finalmente repetimos el cálculo para el punto $(-1/2, -1/2)$

```
(%i11) h2:ev(hes,sol[2]);  
(%o11) matrix([3/sqrt(%e),1/sqrt(%e)],  
[1/sqrt(%e),3/sqrt(%e)])  
(%i12) eigenvalues(h2);determinant(h2);  
(%o12) [[2/sqrt(%e),4/sqrt(%e)], [1,1]]  
(%o13) 8*%e^-1
```

Si repetimos lo anterior para la función $f(x, y) = (xy)e^{x^2+y^2}$ es fácil comprobar que tiene un punto silla en $(0, 0)$.

```
(%i1) remfunction(f)$ define(f(x,y),(x*y)*exp(x^2+y^2));
(%o2) f(x,y):=x*y*%e^(y^2+x^2)
(%i3) eq1:diff(f(x,y),x); eq2:diff(f(x,y),y);
(%i5) sol:solve([eq1,eq2],[x,y]);
(%i6) plot3d(f(x,y),[x,-1.1,1.1],[y,-1.1,1.1]);
(%i7) wxplot3d (f(x,y),[x,-1,1],[y,-1,1], [zlabel,""],
[mesh_lines_color,false], [elevation,0], [azimuth,0],
color_bar,[grid,80,80],[zticks,false],[color_bar_ticks,5]);
(%i8) hessian(f(x,y),[x,y]);
(%i9) h:ev(%,sol[1]);
(%o9) matrix([0,1],[1,0])
(%i10) eigenvalues(h);
(%o10) [[-1,1],[1,1]]
```

1. Calcula los extremos de las funciones

$$f(x, y) = (x^2 + y^2) \exp(x^2 - y^2)$$

$$g(x, y) = (x^2 + 3y^2) \exp(1 - x^2 - y^2)$$

$$h(x, y) = x^3 y^3 - (x^4 + y^4) + xy$$

$$l(x, y) = (1 + e^y) \cos(x) - ye^y$$

El caso de extremos condicionados el procedimiento es análogo pero usando la función de Lagrange. pero determinar si es un máximo o mínimo requiere un poco más de cuidado. Como ejercicio resolver los siguientes problemas:

2. Estudiar los extremos de la función $f(x, y, z) = x + y + 2z$ sobre el elipsoide de ecuación $x^2 + y^2 + 2z^2 = 2$.

3. Calcular los extremos de $f(x, y) = x + y$ sobre la elipse $x^2 + 2y^2 = 1$. Idem para $f(x, y) = -4x - 3y + 6$ sobre $x^2 + y^2 = 1$.