Software para modelado matemático y simulación

TEMA 11

Esquema

Software para modelado matemático y simulación

- Maxima
  - Sistema de cálculo simbólico
  - Soporte para el modelado matemático de sistemas físicos Resolución de ecuaciones diferentes
- Octave
  - Lenguaje de programación
  - Sistema de programación para cálculo numérico
  - Soporte para el modelado matemático de sistemas físicos Resolución de ecuaciones diferenciales
- Simulación con hojas de cálculo
  - Lenguaje Funciones de Excel para generar números aleatorios
  - Funciones para generación de variables aleatorias
  - Etapas para generación de la simulación
  - Otros simuladores

Ideas clave

11.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema lee las **Ideas clave** que encontrarás a continuación.

Además lee y consulta los siguientes manuales.

» Manual de Maxima.
  Disponible en http://maxima.sourceforge.net/docs/manual/es/maxima.pdf
» Introducción a GNU Octave.
  Disponible en https://gnuingenieria.files.wordpress.com/2014/04/manual-octave_rv03a.pdf
» Simulación de colas en Excel. Disponible en http://cuartodeapero.com/resources/cuartodeapero+simulaci$C3$B3n+de+colas+en+excel.pdf

Los números aleatorios son elementos clave para poder construir modelos de simulación que representen modelos reales y su comportamiento. Las ideas claves de este tema son:

» **Maxima.** Sistema de cálculo simbólico.
» **Octave**. Lenguaje de programación y sistema para cálculos numéricos.
» **Simulación** con hojas de cálculo Excel.

11.2. Maxima. Sistema de cálculo simbólico

Maxima

Es un sistema de cálculo simbólico escrito en Lisp. Máxima provine de Macsyma, que era un sistema desarrollado en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) a finales de 1960. En este sistema también se inspiraron otros como Maple y Mathematica.

El código fuente de Maxima, que está disponible en el administrador de archivos de SourceForge
https://sourceforge.net/projects/maxima/files/
Se liberó en 1998 bajo licencia GPL ypuede ser compilado en varios sistemas operativos incluyendo Windows, Linux y MacOS X.

Existe un grupo de usuarios y desarrolladores que actualizan Maxima, corrigen errores y generan documentación de soporte y una lista de correo http://maxima.sourceforge.net/maximalist.html para resolver dudas y otras cuestiones.

Mediante Maxima **se puede realizar cálculo de expresiones tanto simbólicas como numéricas**, se puede realizar diferenciación, integración, desarrollo series de Taylor y transformadas de Laplace.

Modelado de sistemas físicos. Ecuaciones diferenciales

Da un buen soporte al modelado matemático de sistemas físicos ya que permite la resolución de ecuaciones diferenciales, sistemas de ecuaciones y formas de representaciones matriciales, vectoriales y tensores.

Las funciones que se usan, principalmente en Maxima para la resolución de ecuaciones diferenciales son $ic1, ic2, ode2, bc2$ y $desolve$:

» $ic1\ (solución, xval, yval)$- resuelve el problema del valor inicial en ecuaciones diferenciales de primer orden, al igual que lo hace $ode2$.
  - El parámetro $x$val es una ecuación que representa la variable independiente de la forma $x = x0$, e $yval$ es una ecuación que representa la variable dependiente en la

forma $y = y0$, y $dval$ es una ecuación que representa la derivada de la variable dependiente con respecto a la variable independiente evaluada en el punto $xval$.

» $ic2\ (solución, xval, yval, dval)$ – resuelve el problema del valor inicial en ecuaciones diferenciales de segundo orden, al igual que lo hace $ode2$.
  - El parámetro $x$val es una ecuación que representa la variable independiente de la forma $x = x0$, e $yval$ es una ecuación que representa la variable dependiente en la forma $y = y0$, y $dval$ es una ecuación que representa la derivada de la variable dependiente con respecto a la variable independiente evaluada en el punto $xval$.

» $ode2\ (eqn, dvar, ivar)$ –resuelve ecuaciones diferenciales ordinarias de primer o segundo orden. Cuando el cálculo tiene éxito se obtiene una solución explícita o implícita para la variable dependiente y si no tiene éxito devuelve falso o un mensaje de error.
  - Los argumentos que toma son eqn que es una ecuación diferencial ordinaria, la variable dependiente $dvar$, y la variable independiente $ivar$.
  - $\%\,c$ se usa para representar una constante en el caso de ecuaciones de primer orden, y $\%k1$ y $\%k2$ representan las constantes en las ecuaciones de segundo orden.
  - Los métodos que se usan para las ecuaciones de primer orden son: le método lineal, el método separable, el método exacto – que quizás requiera un factor de integración-, el método homogéneo, la ecuación de Bernoulli, y un método homogéneo generalizado.
  - Los métodos que se usan para las ecuaciones de segundo orden son: le método del coeficiente constante, le método exacto, el método lineal homogéneo con coeficientes no constantes que se pueden transformar en coeficientes constante, el método de Euler y otros que se pueden consultar en el manual proporcionado.
    - Para obtener la solución de ecuaciones diferenciales ordinarias se usan ciertas variables con fines informativos como: $method$ que almacena el método de solución utilizado, $intfactor$ que denota cualquier factor de integración que se haya utilizado, $odeindex$ que denota el índice para el método de Bernoulli o el método homogéneo generalizado e yp que denota la solución particular para el método de variación de parámetros.

» $\boldsymbol{bc2}$ $(solution, xval1, yval1, xval2, yval2)$-resuelve el problema de contorno para una ecuación diferencial de segundo orden. Se obtiene la solución general de la ecuación igual que con $ode2$.

- El parámetro xval1 es la ecuación que representa la variable independiente de la forma $x = x0$, e $yval1$ es una ecuación que representa la variable dependiente en la forma $y = y0$. El $xval2$ e $yval2$ son ecuaciones para las mismas variables en otro punto.

» $desolve(eqn, x), desolve([eqn\_1, \ldots eqn\_n], [x\_1, \ldots, x\_n])$- resuelve sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales utilizando la transformada de Laplace.

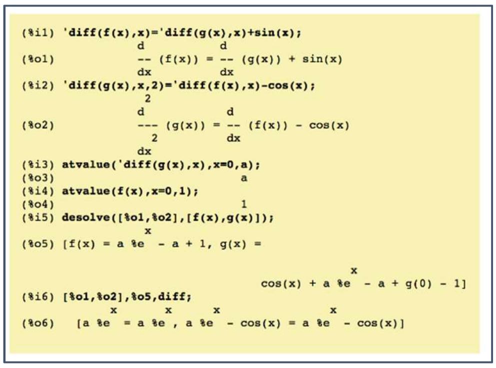
- Las eqn son ecuaciones diferenciales en las variables dependientes $x\_1, \ldots, x\_n$. Las relaciones funcionales se deben indicar de forma explícita tanto en las ecuaciones como en las variables.

» $\boldsymbol{diff}\ (expr, x_1, n_1, \ldots, x_m, n_m), \boldsymbol{diff}\ (expr, x, n), \boldsymbol{diff}\ (expr, x), \boldsymbol{diff}\ (expr)$

- Devuelve la derivada o diferencial de la $expr$ respecto de alguna o de todas las variables presentes en $expr$.

» $atvalue\ (expr, [x_1 = a_1, \ldots, x_m = a_m], c), atvalue\ (expr, x\_1 = a\_1, c)$

- Asigna el valor inicial c al una expresión en el punto x=a. Se utiliza para asignar, entre otros, los valores de las condiciones iniciales.



```
(%i1) 'diff(f(x),x)='diff(g(x),x)+sin(x);
                d           d
(%o1)           -- (f(x)) = -- (g(x)) + sin(x)
                dx          dx
(%i2) 'diff(g(x),x,2)='diff(f(x),x)-cos(x);
                 2
                d            d
(%o2)           --- (g(x)) = -- (f(x)) - cos(x)
                  2          dx
                dx
(%i3) atvalue('diff(g(x),x),x=0,a);
(%o3)                        a
(%i4) atvalue(f(x),x=0,1);
(%o4)                        1
(%i5) desolve([%o1,%o2],[f(x),g(x)]);
                 x
(%o5) [f(x) = a %e  - a + 1, g(x) =

                                          x
                        cos(x) + a %e  - a + g(0) - 1]
(%i6) [%o1,%o2],%o5,diff;
            x       x      x                x
(%o6)   [a %e  = a %e , a %e  - cos(x) = a %e  - cos(x)]
```

Figura 1. Ejemplo de resolución de ecuaciones diferenciales con Maxima.
Fuente: Manual Maxima http://flex.phys.tohoku.ac.jp/texi/maxima/maxima_22.html

Los resultados se pueden obtener en diferentes precisiones. Además **se pueden realizar gráficas de funciones y representación de datos en dos o tres dimensiones.** Para completar la información sobre instalación y uso de otras funciones consulte el Manual de Maxima que se facilita en el tema.

Ejemplo (Ortigoza, 2008)

Considérese el problema de valor inicial $y'' + 16y = 8\sin(4t)$, $y(0) = 1\ y'(0) = 0$ que es una ecuación lineal no homogénea de segundo orden con coeficientes constantes, que puede resolverse usando el método de coeficientes indeterminados. Para resolver se usa

$$eqn3\colon 'diff(y,t,2) + 16 * y = 8 * sin(4 * t);$$

Para definir la ecuación diferencial y resolver se usa:

$$sol3 : ode2(eqn3, y, t);$$

Y se obtiene

$$y \ = \ \%k1\ sin(4t) \ - \ tcos(4t) \ + \ \%k2cos(4t)$$

Se incluyen las condiciones iniciales

$$ic2(sol3, t = 0, y = 1, 'diff(y,t) = 0);$$

Y se obtiene la solución

$$y = \frac{\sin(4t)}{4} - t\cos(4t) + \cos(4t)$$

Se puede definir una función a partir de la solución y realizar la gráfica:

$$y(t) : = \ y \ = \ sin(4 \ * \ t)\ /4 \ - \ t \ * \ cos(4 \ * \ t) \ + \ cos(4 \ * \ t);\ plot2d(y(t), [t, 0, 10])$$

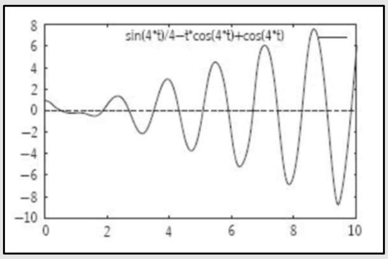


Figura 2. Solución de y''+16y=8 sin(4t), y(0)=1 y' (0)=0. Fuente: Ortigoza, 2008.

Consulta más ejemplos resueltos en el siguiente enlace:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-58262009000200006

11.3. Octave. Lenguaje y sistema de programación para cálculos numéricos

Octave

Es un lenguaje de alto nivel que se utiliza para el cálculo numérico. Los problemas que se pueden resolver son problemas numéricos lineales y no lineales.

Se diseñó en el año 1988 para un curso de diseño de reactores químicos para alumnos de Ingeniería Química en las universidades de Texas y Wisconsin-Madison. Actualmente **continúa en desarrollo** bajo la dirección del Dr. J. W. Eaton y ha sido publicado bajo la Licencia Pública General de GNU.

La utilidad de Octave se ve reforzada porque es compatible con la sintaxis de MATLAB, por lo que ambos son ampliamente utilizados por ingenieros y científicos, tanto en la industria como en el mundo académico para la realización de cálculos numéricos, y para desarrollar y probar algoritmos matemáticos. Octave **se ha diseñado para resolver problemas matemáticos numéricamente**, lo que significa que no siempre puede dar una solución exacta a un problema, y no se debe confundir con programas tales como Mathematica o Maple, que dan soluciones simbólicas al hacer la manipulación algebraica.

La potencia de Octave estriba en el conjunto de herramientas que posibilitan la resolución de problemas de algebra lineal, cálculo de raíces de ecuaciones no lineales, integración de funciones ordinarias, manipulación de polinomios, integración de ecuaciones diferenciales ordinarias y ecuaciones diferenciales algebraicas. Además es posible extender su funcionalidad mediante la definición de funciones de usuario escritas en el lenguaje propio de Octave o bien integrando módulos que se cargan dinámicamente y que pueden estar escritos en lenguajes como C, C++ y Fortran entre otros.

También proporciona capacidades gráficas extensas para la visualización y manipulación de datos. Octave se utiliza normalmente a través de su interfaz de línea de comandos interactiva, pero también se puede utilizar para escribir programas no interactivos.

Descarga la última versión 4.0.3 de Octave de julio de 2016 en el siguiente enlace:
https://www.gnu.org/software/octave/

Modelado de sistemas físicos. Ecuaciones diferenciales

Para el modelado de sistemas físicos y la resolución de las ecuaciones diferenciales que los representan Octave utiliza fundamentalmente la función $lsode$ ().

» $\boldsymbol{lsode}$ (fcn, x_0, t), $\boldsymbol{lsode}$ (fcn, x_0, t, t_crit): resuelve una ecuación diferencial usando la resolución de *Hindmarsh*. Retorna $[\boldsymbol{x}, \boldsymbol{info}, \boldsymbol{msg}]$, donde x es una matriz de resultados, $info$ la condición de terminación (opcional) y msg un mensaje de terminación.

- fcn: nombre de la función
- x_0:condiciones iniciales
- t: vector con los valores de t en los que debe evaluarse la función integrada.
- t_crit: puntos singulares que deben ser evitados.

» $\boldsymbol{daspk}$ $(fcn, x\_0, xdot\_0, t, t\_crit)$, **dassl** *(fcn, x_0, xdot_0, t, t_crit)*: resuelven un conjunto de ecuaciones diferenciales mediante el método de *Petzold* (la primera) y con restricciones o condiciones de parada (la segunda):

- fcn: nombre de la función.
- x_0:condiciones iniciales.
- $xdot\_0$: derivadas de las condiciones iniciales.
- t: vector con los valores de t en los que debe evaluarse la función integrada.
- t_crit: puntos singulares que deben ser evitados.

» $\boldsymbol{dasrt}$ $(fcn, [g], x_0, xdot_0, t)$, $\boldsymbol{dasrt}$ $(fcn, g, x\_0, xdot\_0, t)$, $\boldsymbol{dasrt}$ $(fcn, [], x\_0, xdot\_0, t, t\_crit)$, $\boldsymbol{dasrt}$ $(fcn, g, x\_0, xdot\_0, t, t\_crit)$: resuelve ecuaciones diferenciales con criterios funcionales de parada.

- fcn: nombre de la función.
- g: función que define las funciones de restricción cuyas raíces se necesiten durante la integración.
- x_0:condiciones iniciales.
- $xdot\_0$: derivadas de las condiciones iniciales.
- t: vector con los valores de t en los que debe evaluarse la función integrada.

Templado de una pieza de acero.

Una placa de acero se extrae de un horno a 600 ℃ y se sumerge en un baño de aceite a 30 ℃. Se sabe que la constante de enfriamiento de la pieza es 0.023. Determinar, con OCTAVE, la temperatura que tendrá la pieza después de 92 [s].

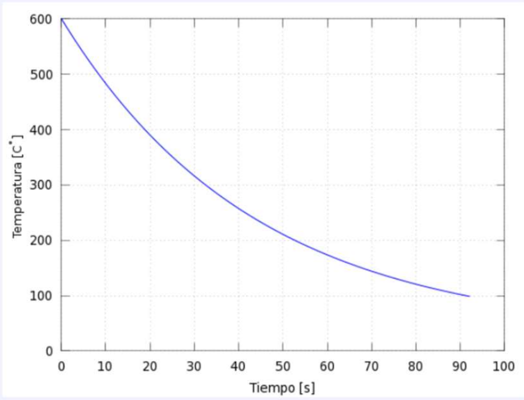
De acuerdo con la ley de enfriamiento de Newton, la rapidez de cambio de la temperatura de un cuerpo es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre el cuerpo y el medio circundante. Esto es

$$T'(t) = k\,(T_a - T(t))$$
$$T(0) = 92$$

donde k es una constante de proporcionalidad, $T(t)$ es la temperatura del objeto cuando $t > 0$ y Ta es la temperatura ambiente, o sea; la temperatura del medio que rodea al objeto.

Como se desea saber cuánto vale la temperatura en t=92 [s], lo adecuado es resolver este problema en el intervalo [0,92].

```
>> k=0.023;
>> Ta=30;
>> T0=600;
>> t=[0:0.1:92];
>> fun= @(T,t) k*(Ta−T) ;
>> T= lsode (fun, T0, t);
>> plot(t,T,'Color','blue','linewidth', 1)
```



"A simple vista", se observa que la respuesta a la pregunta es 100℃.

Figura 3. Ley de enfriamiento de Newton. Fuente: CMCM, 2014.

Accede a otros ejemplos en Introducción a GNU Octave en el siguiente enlace:
https://gnuingenieria.files.wordpress.com/2014/04/manual-octave_rv03a.pdf

11.4. Simulación con hojas de cálculo. Excel

Las hojas de cálculo como Excel permiten la realización de simulaciones de sistemas sencillos, pero de forma eficaz, permitiendo incluso la realización de análisis de sensibilidad para eliminar incertidumbres.

El paquete estándar de Excel incluye características básicas de simulación mediante las que se pueden generar números aleatorios uniformes y variables aleatorias a partir de distribuciones de probabilidad.

Permite además, la realización de análisis de datos, para lo que es necesario tener instaladas herramientas para análisis estadístico mediante la opción de **Análisis de Datos.** Además de las funciones de Excel para la realización de cálculos estadísticos, existen otras que se pueden **aplicar para la realización de simulaciones.** A continuación se enumeran las más usadas:

» Generación de números aleatorios.
  - **ALEATORIO():** devuelve un número aleatorio distribuido según una distribución uniforme $U[0;1]$
  - **ALEATORIO.ENTRE(a;b):** devuelve un número aleatorio distribuido según una distribución uniforme U[a;b]

» Generación de variables aleatorias
  - **DIST.GAMMA.INV**: calcula la inversa de la función gamma acumulativa
  - **DIST.GAMMA**: calcula la distribución gamma.
  - **DISTR.BETA.INV:** calcula la inversa de la función de densidad de probabilidad beta acumulativa.
  - **DISTR.BETA**: calcula la función de densidad de probabilidad beta acumulativa.
  - **DISTR.BINOM**: calcula la probabilidad de distribución binomial de un término individual.
  - **DISTR.CHI:** calcula la probabilidad de una sola cola de la distribución *chi* cuadrado.
  - **DISTR.EXP:** calcula la distribución exponencial.
  - **DISTR.F:** calcula la distribución de probabilidad F.
  - **DISTR.HIPERGEOM:** calcula la distribución hiper-geométrica.
  - **DISTR.INV.F:** calcula la inversa de una distribución de probabilidad F.
  - **DISTR.LOG.INV:** calcula la inversa de la distribución logarítmica-normal.
  - **DISTR.LOG.NORM**: calcula la distribución logarítmica-normal acumulativa.
  - **DISTR.NORM.ESTAND.INV:** calcula la inversa de la distribución normal acumulativa estándar.
  - **DISTR.NORM.ESTAND:** calcula la distribución normal acumulativa estándar.
  - **DISTR.NORM.INV:** calcula la inversa de la distribución normal acumulativa.
  - **DISTR.NORM:** calcula la distribución normal acumulativa.
  - **DISTR.T.INV:** calcula la inversa de la distribución *t* de *Student*.
  - **DISTR.T:** calcula la distribución *t* de *Student*.
  - **DISTR.WEIBULL:** calcula la distribución *Weibull*.
  - **NEGBINOMDIST:** calcula la distribución binomial negativa.

- **POISSON**: calcula la distribución de *Poisson*.

La estructura general de una simulación en Excel es:

1	Se identifica el número de variables que se van a considerar en la simulación y se crean tantas columnas como variables se hayan identificado.
2	Se determina el tamaño de la simulación y la cantidad de números aleatorios que se necesitan generar.
3	Se identifica la distribución de probabilidad que se debe usar y de acuerdo con eso se generan las variables aleatorias correspondientes.

Ejemplo simulación viabilidad de un negocio (Hillier y Lieberman, 2010)

Se pretende establecer si un negocio es rentable a 4 años vista. Para ello se cuenta con los siguientes datos:

- Desembolso inicial: con distribución normal de esperanza 2000 euros y desviación de 150
- Flujos de caja: es el resultado de calcular el numero de productos vendidos por el margen obtenido por cada uno.
- Ventas anuales: con distribución uniforme entre 300 y 600 productos
- Margen de ventas: distribución normal con media de 5 euros y desviación típica de 1 euro
- Duración: aleatoria.
  - 2 años con probabilidad del 15%
  - 3 años con probabilidad del 40%
  - 4 años con probabilidad del 45%
- El desembolso inicial y la duración están directamente relacionadas y margen y ventas están negativamente relacionadas.

Figura 4. Simulación viabilidad de un negocio. Fuente: Hiller y Lieberman, 2010.

1. Establecimiento de las variables aleatorias
    - Desembolso inicial: N (2.000, 150)
    - Ventas del año i: U (300, 600)
    - Margen del año i: N (5 , 1)
    - Duración: Discreta según la tabla dada
2. Obtención de los valores de las variables aleatorias
    - Se pone a la columna un nombre significativo
    - Se crea una columna que genere los números aleatorios con la función Aleatorio(), que proporciona un número entre 0 y 1
    - Se aplica la formula de la distribución o rangos correspondientes para obtener los valores de las distintas variables
    - Se arrastra la fórmula durante tantas filas como veces se quiera realizar la simulación
        - **Desembolso inicial.** Se usa la función $Distr.Norm.Inv(probabilidad, esperanza\ o\ media\ y\ desviación\ típica)$, para obtener el valor de x, que hace que la función tome el valor de aleatorio F(x)=a.
        - **Duración.** Se usa la formula $= SI(A2 <= 0{,}15; 2; SI(A2 <= 0{,}55; 3; 4))$siendo A2 la celda del numero aleatorio correspondiente.
        - **Ventas.** Se calcula un nuevo número aleatorio porque es independiente de las otras y se usa la distribución uniforme, mediante la siguiente fórmula $= Aleatorio * (600 - 300) + 300$
        - **Margen año 1.** Está inversamente relacionada con ventas. Se usa: $= Distr.Nor.Inv(1 - aleatorio\ de\ ventas, 5, 1)$
        - **Flujo de caja.**
            - Año 1, número de ventas de ese año por el margen de ese año.
            - Otros años, como las variables aleatorias que los componen son directamente dependientes entre sí a lo largo del tiempo (mismo número aleatorio) e igualmente distribuidas (misma función de distribución), el valor para los flujos de caja de los años 2, 3 y 4, en caso de existir, serían iguales a los del año 1.
            - Año 4 existirá sólo si la duración es igual a 4 años, y el del año 3 sólo si la duración es 3 o 4, ya que en caso contrario serían nulos
            - Se usa $= si(C2 > 2; H2{,}0)$, para el 3, siendo C2 la variable aleatoria y H2 el valor del flujo del año 1
3. Salida de la simulación
    - Valor de rentabilidad del proyecto (TIR) . A mayor rentabilidad mejor será el proyecto. Se usa $= TIR(rango\ de\ flujos\ y\ desembolsos)$. Se considera rentable si el TIR mayor que un 10%
    - Esperanzas y desviaciones típicas
    - Probabilidad de que el proyecto sea rentable
    - Frecuencias de los valores de ganancias o perdidas
    - Realización de histogramas para analizar la distribución de probabilidad a la que se asemejan los resultados

Figura 5. Simulación viabilidad de un negocio. Fuente: Hiller y Lieberman, 2010.

Tabla de simulación

En la «Figura 6» podemos observar que las columnas sin nombre representan los números aleatorios generados para calcular las variables aleatorias.

	Desembolso inicial	Duración		Ventas	Margen
0,60619681	2040,413024	0	0,51052455	453,157366	4,97361579
0,05714187	1763,115781	2	0,7237809	517,13427	4,40588949
0,60963854	2041,756561	4	0,32409994	397,229983	5,45626436
0,41633119	1968,306767	3	0,2831746	384,952379	5,57343649
0,88054596	2176,658062	4	0,53333546	460,000639	4,91634291
0,6671463	2064,807022	4	0,91145429	573,436286	3,65023517
0,8708086	2169,533263	4	0,54153935	462,461805	4,89568742
0,62818244	2049,056499	4	0,58250399	474,751198	4,79169652
0,6054977	2040,140511	4	0,42859985	428,579955	5,17993996
0,98816607	2339,371776	4	0,75460724	526,382172	4,31094001
0,57823242	2029,606043	4	0,22965734	368,897203	5,73997579
0,20146501	1874,540031	3	0,3551711	406,551331	5,37139654
0,87266201	2170,859773	4	0,57285291	471,855873	4,81635783
0,73523094	2094,306687	4	0,4237994	427,13982	5,19218308
0,62740538	2048,748383	4	0,39809621	419,428863	5,25827793

Figura 6. Tabla de simulación (primera parte).

En la «Figura 7» observamos la segunda parte de la tabla de simulación:

G	H	I	J	K
Desembolso inicial	Flujo de caja año 1	Flujo de caja año 2	Flujo de caja año 3	Flujo de caja año 4
-2040,413024	2253,830634	2253,830634	0	0
-1763,115781	2278,436444	2278,436444	0	0
-2041,756561	2167,391801	2167,391801	2167,391801	2167,391801
-1968,306767	2145,507633	2145,507633	2145,507633	0
-2176,658062	2261,520879	2261,520879	2261,520879	2261,520879
-2064,807022	2093,177297	2093,177297	2093,177297	2093,177297
-2169,533263	2264,068444	2264,068444	2264,068444	2264,068444
-2049,056499	2274,863663	2274,863663	2274,863663	2274,863663
-2040,140511	2220,018437	2220,018437	2220,018437	2220,018437
-2339,371776	2269,201968	2269,201968	2269,201968	2269,201968
-2029,606043	2117,461013	2117,461013	2117,461013	2117,461013
-1874,540031	2183,748409	2183,748409	2183,748409	0
-2170,859773	2272,626729	2272,626729	2272,626729	2272,626729
-2094,306687	2217,788145	2217,788145	2217,788145	2217,788145
-2048,748383	2205,473532	2205,473532	2205,473532	2205,473532

Figura 7. Tabla de simulación (segunda parte).

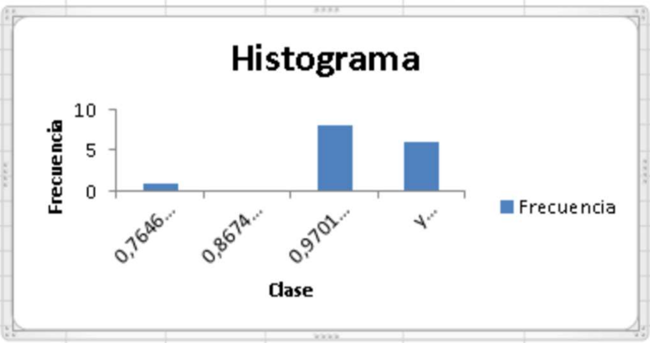
Y en la siguiente podemos ver la tercera parte de la tabla de simulación:

=TIR(G2:K2) =promedio(L2:L16) =desvestp(L2:L16) =si(l2>10%;1;0) =sum(O2:O16)/16

	L	M	N	O	P
1	TIR	Esperanza	Desviación tipica	¿Es rentable?	Probabilidad
2	58%	92%	0,12539351	1	1
3	93%			1	
4	94%			1	
5	104%			1	
6	103%			1	
7	98%			1	
8	68%			1	
9	92%			1	
10	99%			1	
11	101%			1	
12	98%			1	
13	96%			1	
14	91%			1	
15	89%			1	
16	103%			1	

Figura 8. Tabla de simulación (tercera parte).

Para el análisis de los datos se instalan herramientas para análisis estadístico (opción Análisis de datos). Se selecciona la opción «Histograma». En el rango de entrada se incluirán los valores obtenidos para la TIR y en el rango de salida, se elegirá la celda de la hoja de cálculo donde se quiere que se muestre el histograma.



Clase	Frecuencia
0,764685703	1
0,86741987	0
0,970154037	8
y mayor...	6

Figura 9. Análisis de datos (histograma).

Existe @RISK un complemento para el análisis de riesgo de una simulación que muestra múltiples resultados en la misma hoja de cálculo de Excel, indicando la probabilidad de que se produzcan. Consulta más información en http://www.palisade-lta.com/risk/

Existen ejemplos de simulación de colas con Excel en la página web **Graphical Spreadsheet Simulation of Queues** de la sección «Lo + recomendado», y que son los ejemplos del artículo del mismo nombre y que se pueden descargar de https://sites.ualberta.ca/~aingolfs/simulation/ .

***Software* para simulación**

Existen muchas aplicaciones para realizar simulaciones de sistemas de colas, sistemas de inventario y de procesos industriales.

Accede al enlace para ver una recopilación de las más utilizadas y sus características:
http://softwaresdesimulacion.blogspot.com.es/2014_02_01_archive.html

11.5. Referencias bibliográficas

CMCM. (2014). Introducción a GNU Octave. Aplicaciones en ingeniería. Recuperado de https://gnuingenieria.files.wordpress.com/2014/04/manual-octave_rv03a.pdf

Hillier, F. S. y Lieberman, G. J. (2010). Introducción a la investigación de operaciones (9th ed.). Nueva York: McGraw-Hill. Recuperado de https://books.google.es/books?id=wh0oAQAAMAAJ

Ortigoza, G. M. (2008). *Ecuaciones diferenciales ordinarias con Maxima. Revista Ecuación Matemática, 21*(2). 143-167. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-58262009000200006

Lo + recomendado

Lecciones magistrales

Software para modelado matemático y simulación

En la siguiente lección magistral mostraremos la manera de mostrar la respuesta de un sistema físico con Octave.

Accede a la lección magistral a través del aula virtual

No dejes de leer…

Principles of mathematical modeling

Capítulo sobre modelado matemático y uso de herramientas como Maxima.

Accede al artículo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
http://www.hs-geisenheim.de/fileadmin/user_upload/AG_Modellierung/3527407588_c01.pdf

Introducción a Octave

Apuntes de un curso de Octave orientado principalmente a la resolución de ecuaciones diferenciales.

Accede al artículo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
http://www.cimec.org.ar/twiki/pub/Cimec/MetodosNumericosYSimulacion/metnums.pdf

Simulación Montecarlo

Documento que describe la simulación con Excel utilizando el método Montecarlo.

Accede al documento desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Simulacion_MC.pdf

Simulación de colas en Excel

Documento sobre simulación de colas usando Excel.

Accede al documento desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:
http://cuartodeapero.com/resources/cuartodeapero+simulaci$C3$B3n+de+colas+en+excel.pdf

+ Información

A fondo

Manual de Maxima 5.35.1

Manual online de la herramienta Maxima.

Accede al documento a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:
http://maxima.sourceforge.net/docs/manual/es/maxima.html#SEC_Top

Introducción a GNU Octave

Manual de GNU Octave.

Accede al documento a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:
http://softlibre.unizar.es/manuales/aplicaciones/octave/octave.pdf

Ecuaciones diferenciales ordinarias con Maxima

Ortigoza, G. M. (2008). *Ecuaciones diferenciales ordinarias con Maxima*. *Revista Ecuación Matemática, 21*(2). 143-167.

Artículo con ejemplos que explica cómo resolver ecuaciones diferenciales.

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-58262009000200006

Graphical Spreadsheet Simulation of Queues

Ingolfsson, A. y Grossman, T. A: (2002).Graphical Spreadsheet Simulation of Queues. *INFORMS Transactions on Education 2*(2), 27-39.

Artículo sobre simulación gráfica de colas con Excel.

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:
http://pubsonline.informs.org/doi/pdf/10.1287/ited.2.2.27

Uso de la simulación en hoja de cálculo como herramienta pedagógica para la inferencia estadística

Martínez de Ibarreta, C. (2004). Uso de la simulación en hoja de cálculo como herramienta pedagógica para la inferencia estadística. Revista Electrónica de Comunicaciones y trabajos ASEPUMA: Rect@.

Artículo sobre simulación con Excel.

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:
http://www.uv.es/asepuma/XII/comunica/martinez.pdf

Enlaces relacionados

Graphical spreadsheet queueing simulation

Lista de ejercicios de simulación de colas en Excel, de los ejercicios del artículo anterior.

Graphical spreadsheet queueing simulation

Accede a la página a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:
https://sites.ualberta.ca/~aingolfs/simulation/

Bibliografía

Arias, T. et al. (2011). Matlab + Octave. Aprender Matlab/Octave en 25 horas. Madrid: Editorial Tebar.

Ingolfsson, A. y Grossman, T. A. (2002). Graphical Spreadsheet Simulation of Queues. *Informs Transactions on Education, 2*(2), 27–39.

Cao, R. (2002). *Introducción a la simulación y a la teoría de colas*. La Coruña: Netbiblo, S.L.

Fishman, G. S. (1973). C*oncepts and Methods in Discrete Event Digital Simulation*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Fishman, G. S. (1978). *Conceptos y métodos en la simulación digital de eventos discretos*. México: Limusa.

García-Dunna, E. (2012). Simulación y análisis de sistemas con promodel. Nueva York: addison-Wesley.

Banks, J. (1998). *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. Nueva York: Wiley & Sons. Recuperado de http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471134031.html

Quarteroni, A., Saleri, F. y Gervasio, P. (2014). *Scientific Computing with MATLAB and Octave*. Nueva York: Springer Science & Business Media.

Velten, K. (2009). *Mathematical Modeling and Simulation: Introduction for Scientists and Engineers*. Nueva York: Wiley & Sons.

Wouwer, A. V., Saucez, P. y Fernández, C. V. (2014). Simulation of ODE/PDE Models with MATLAB®, OCTAVE and SCILAB: Scientific and Engineering Applications. Nueva York: Springer.

Test

1. Las condiciones iniciales para resolver ecuaciones diferenciales en Maxima:

A. Se establecen previamente con *diff*.

B. Se establecen previamente con *desolve*.

C. Se establecen previamente con *atvalue*.

D. Se establecen previamente con *ic2*.

2. Octave es un *software:*

A. De simulación de colas de espera.

B. De simulación de inventarios.

C. De cálculo numérico.

D. Ninguna de las anteriores es verdadera.

3. En la simulación con Excel:

A. Existen funciones que generan números aleatorios.

B. Los valores de números aleatorios se deben tomar de tablas.

C. No existen funciones de generación de números aleatorios.

D. Ninguna de las anteriores es verdadera.

4. Las variables aleatorias de una simulación en Excel:

A. Se calculan únicamente mediante la distribución uniforme.

B. Se calculan haciendo uso de las funciones definidas para los distintos tipos de distribuciones.

C. No se pueden generar.

D. Ninguna de las anteriores es verdadera.

5. En la simulación con Excel:

A. Se pueden crear tantas muestras de números aleatorios como variables independientes.

B. Solo se puede crear una muestra de números aleatorios.

C. No soporta variables independientes.

D. Ninguna de las anteriores es verdadera.