INVESTIGACIÓN OPERATIVA SUPERIOR

nuevo módulo: planificación

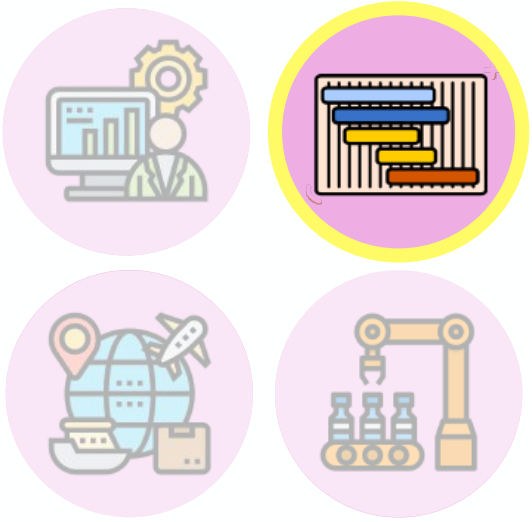
Virtual Sincrónica

segundo módulo: planificación

programación de restricciones

presentación de resultados y reportes

planificación de la producción



planificación de proyectos

distintas bibliotecas para planificación

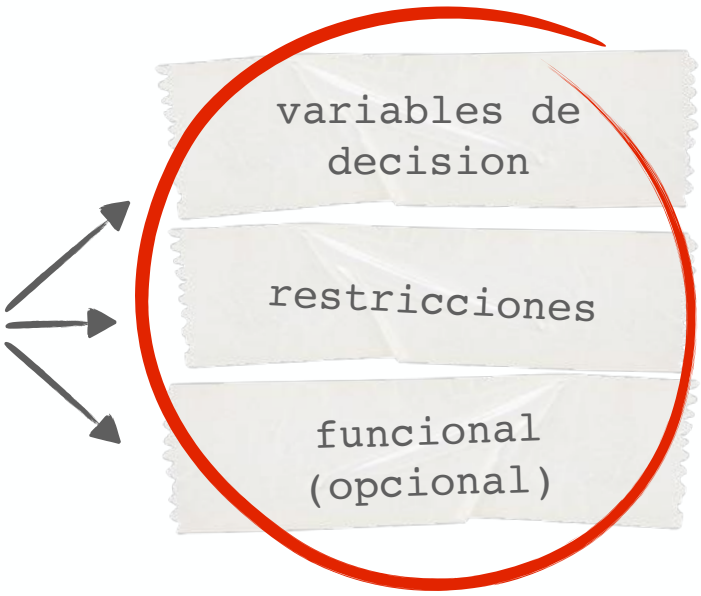
conexión de modelos a base de datos

programación de restricciones

... pero, ¿qué son?

algoritmos de búsqueda basados en la satisfacción de las restricciones

¿cómo están formados?



nuestro simple problema ...

maximizar $30*x + 15*y$

$x + 2*y \leq 55$

$x \leq 50$

$y \leq 50$

digamos ahora que x e y son enteras

modelo de programación matemática

¿y en programación de restricciones?

```
from docplex.cp.model import CpoModel

m = CpoModel()

x = m.integer_var(name = 'x')
y = m.integer_var(name = 'y')

m.maximize(30*x + 15*y)
m.add_constraint(x + 2*y <= 55)
m.add_constraint(x <= 50)
m.add_constraint(y <= 50)

s = m.solv()
print(f"x
```

¿por qué buscamos alternativas a la programación matemática?

tiempo de resolución

mejoras en la formulación

instrucciones especiales

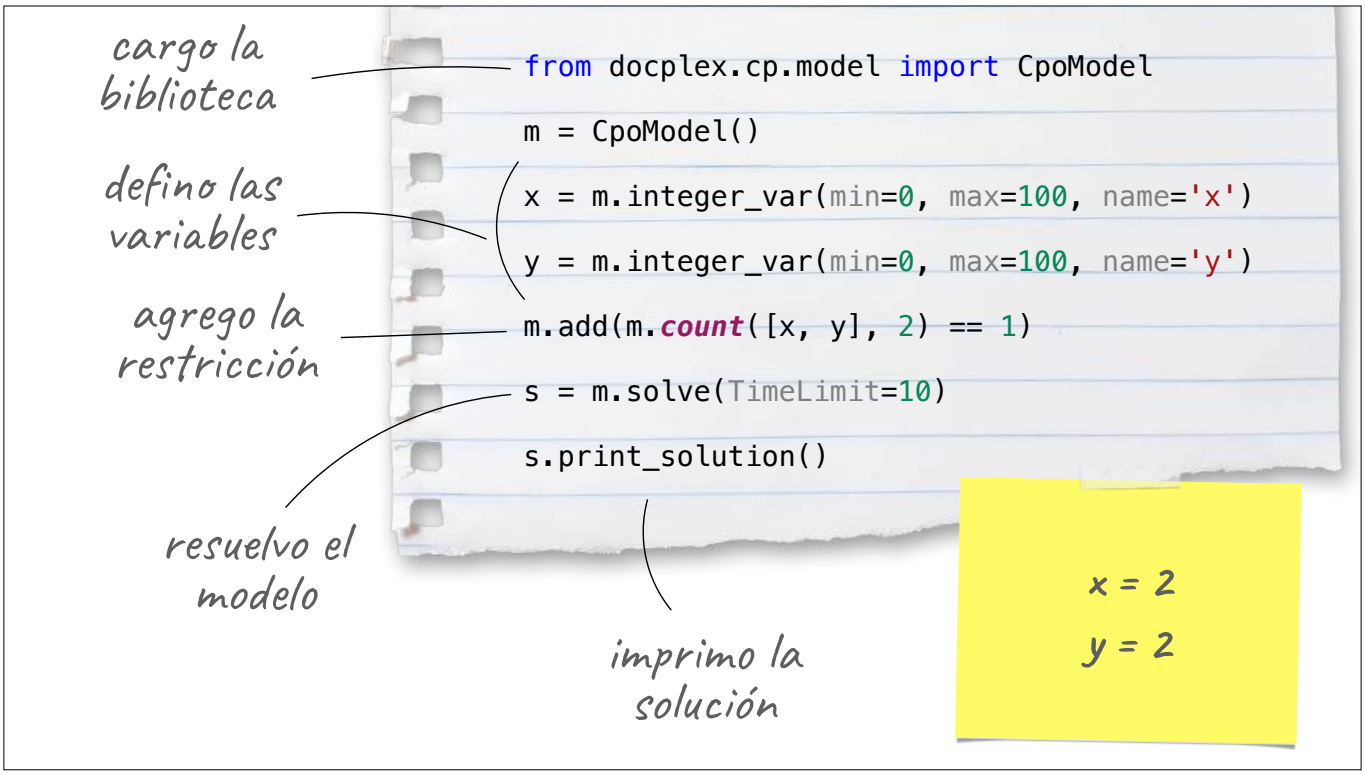
algunas instrucciones especiales

contar valores en un vector

valor a contar

```
modelo.add(count(lista, v) == 1)
```

lista de python pero ...
el tipo de variable debe ser
compatible con CP



valores diferentes

```
modelo.add(all_diff(lista))
```

lista de python pero ...
el tipo de variable debe ser
compatible con CP

defino un array de enteros

$\sum k_i \leq 20$

restricción todos diferentes

```
m = CpoModel()

w = m.integer_var(min=0, max=10, name="w")
x = m.integer_var(min=0, max=10, name="x")
y = m.integer_var(min=0, max=10, name="y")
z = m.integer_var(min=0, max=10, name="z")

k = [w, x, y, z]

m.add(sum(k) <= 20)

m.add(all_diff(k))
```

luego de ejecutarlo

```
m = CpoModel()

w = m.integer_var(min=0, max=10, name="w")
x = m.integer_var(min=0, max=10, name="x")
y = m.integer_var(min=0, max=10, name="y")
z = m.integer_var(min=0, max=10, name="z")

k = [w, x, y, z]

m.add(sum(k) <= 20)

m.add(all_diff(k))
```

nomenclatura muy importante

DEMO 2

```
m = CpoModel()

k = [m.integer_var(
      min=0,
      max=10,
      name="x" + str(i)
      ) for i in range(4)]

m.add(sum(k) == 20)

m.add(all_diff(k))
```

ejemplo #1 sudoku

reglas

completar los casilleros vacíos con números del 1 al 9 ...

no repetir números dentro de una columna

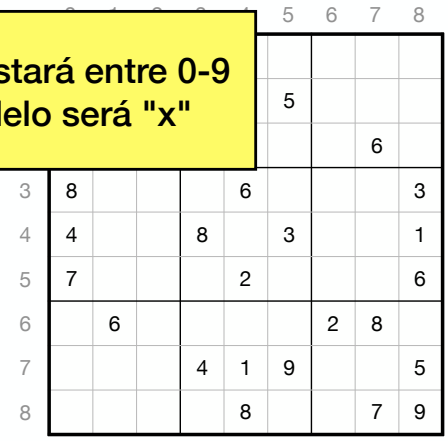
5	3			7				
6			1	9	5			
	9	8					6	
8				6				3
4			8		3			1
7				2				6
	6					2	8	
			4	1	9			5
				8			7	9

no repetir números dentro de una fila

no repetir números dentro de un cuadrante

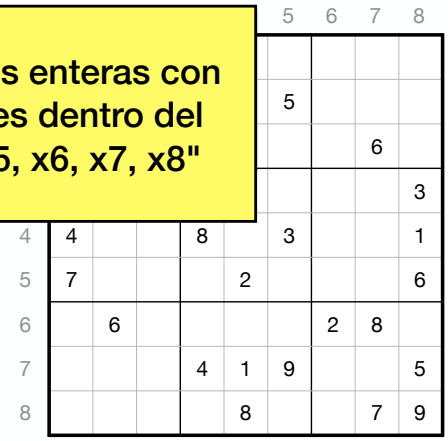
```
modelo = CpoModel()

k =   modelo.integer_var(min=0, max=9, name="x")
```

k: variable entera cuyo valor estará entre 0-9 y su nombre dentro del modelo será "x"




```
modelo = CpoModel()

k = [[modelo.integer_var(min=0, max=9, name="x")+ str(i)) for i in range(9)]
```

k: vector (o lista) de 9 variables enteras con valores entre 0-9 con nombres dentro del modelo "x0, x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8"



```
modelo = CpoModel()

k = [[modelo.integer_var(min=0, max=9, name="x")+ str(i) + str(j))
for i in range(9)] for j in range(9)]

modelo.add(k[0][0] == 5)
modelo.add(k[0]
modelo.add(k[0]
modelo.add(k[1]
modelo.add(k[1]
modelo.add(k[1]
modelo.add(k[1]
modelo.add(k[2]
modelo.add(k[2][2] == 8)
modelo.add(k[2][7] == 6)
modelo.add(k[3][0] == 8)
modelo.add(k[3][4] == 6)
modelo.add(k[3][8] == 3)
modelo.add(k[4][0] == 4)
modelo.add(k[4][3] == 8)
modelo.add(k[4][5] == 3)
etc ...
```

k: matriz (o lista) de 9x9 variables enteras con valores entre 0-9 con nombres dentro del modelo "x00, x10, x20, ... , x88"

	5	6	7	8
	5			
			6	
				3
4	4		8		3			1
5	7			2				6
6		6				2	8	
7			4	1	9			5
8				8			7	9

elementos de la fila diferentes

```
modelo.add(all_diff([k[0][0], k[0][1], k[0][2], k[0][3], k[0][4], k[0][5],
k[0][6], k[0][7], k[0][8], k[0][9]]))
```

todos los elementos de la primera fila son diferentes ...

elementos de la fila diferentes

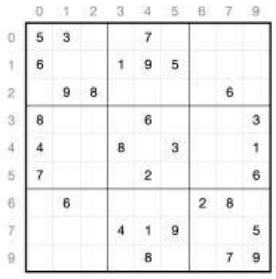
```
modelo.add(all_diff([k[0][j] for j in range(9)]))
modelo.add(all_diff([k[1][j] for j in range(9)]))
modelo.add(all_diff([k[2][j] for j in range(9)]))
modelo.add(all_diff([k[3][j] for j in range(9)]))
modelo.add(all_diff([k[4][j] for j in range(9)]))
modelo.add(all_diff([k[5][j] for j in range(9)]))
modelo.add(all_diff([k[6][j] for j in range(9)]))
modelo.add(all_diff([k[7][j] for j in range(9)]))
modelo.add(all_diff([k[8][j] for j in range(9)]))
modelo.add(all_diff([k[9][j] for j in range(9)]))
```

elementos de la fila diferentes

```
for i in range(9):  [k[0][j] for j in range(9)]))
    modelo.add(all_diff([k[i][j] for j in range(9)]))
```

elementos de la fila diferentes

```
for i in range(9):
    modelo.add(all_diff([k[i][j] for j in range(9)]))
```



elementos de la columna diferentes

```
for j in range(9):
    modelo.add(all_diff([k[i][j] for i in range(9)]))
```

elementos del cuadrante diferentes

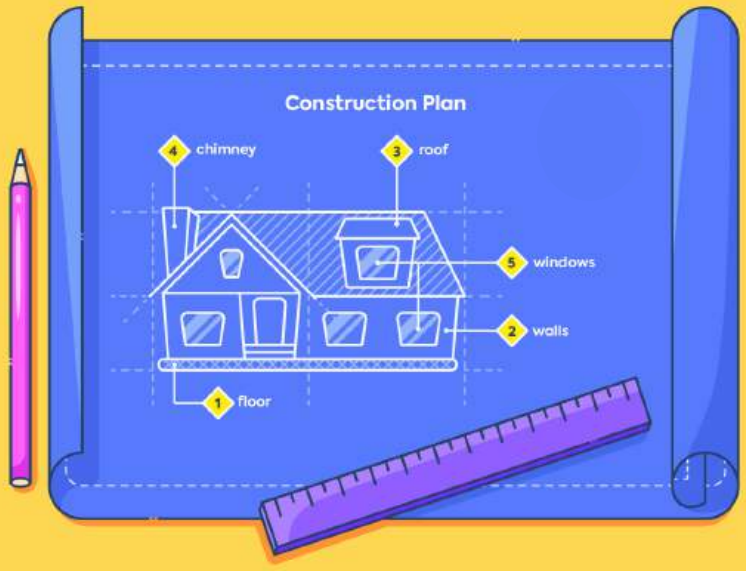
```
for x in [0, 3, 6]:
    for y in [0, 3, 6]:
        modelo.add(all_diff([k[i][j] for i in range(x, x + 3)
            for j in range(y, y + 3)]))
```

¿preguntas?

DEMO 3

pero, ¿y en qué es muy bueno programación de restricciones?

planificación



¿ software "enlatado" o desarrollado "a medida" ?

scheduling

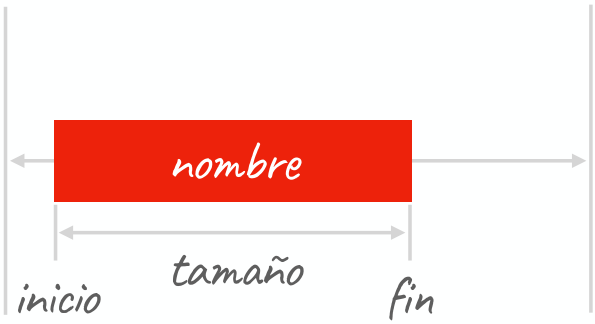
(con constraint programming optimization)

intervalos

```
t = modelo.interval_var(
        optional,
        start,
        end,
        size,
        name)
```

true si la tarea es opcional

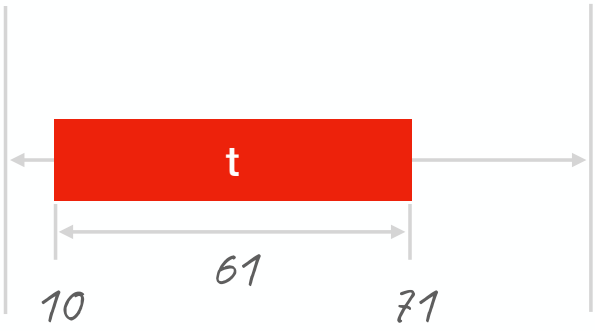
intervalo



intervalo

```
t = modelo.interval_var(
        optional = False,
        start = 10,
        end = 71,
        size = 61,
        name = 't')
```

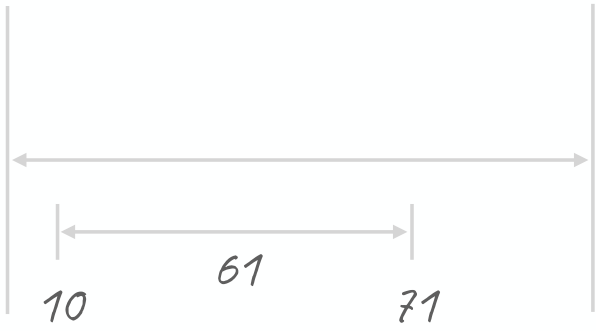
false es la opción predeterminada



funciones para intervalos . . .

activación

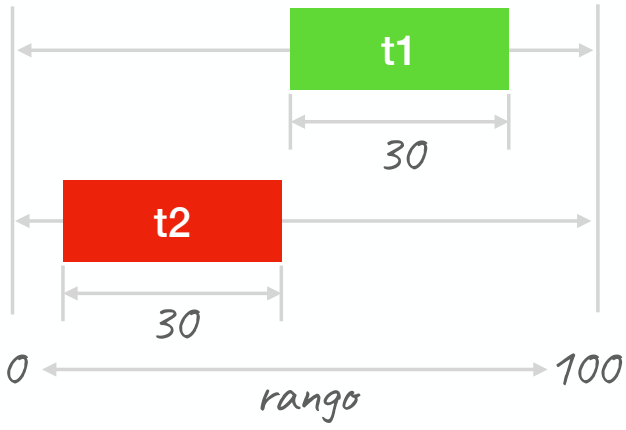
```
t = modelo.interval_var(
        optional = True,
        start = 10,
        end = 71,
        size = 61,
        name = 't')

modelo.add(modelo.presence_of(t)
== True)
```




```
modelo.presence_of(t) == True
modelo.presence_of(t) == False
```

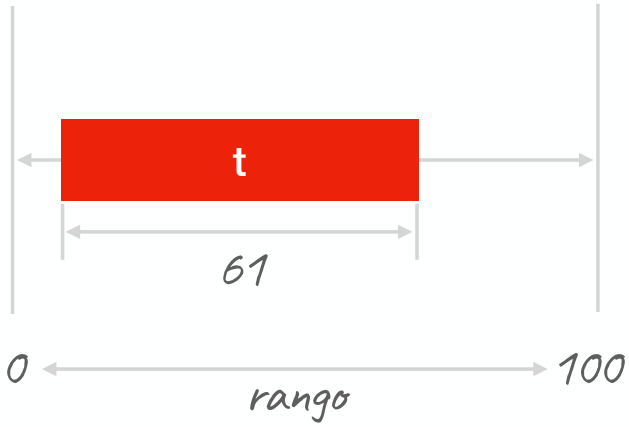
activación

```
t1 = modelo.interval_var(
    optional = True,
    start = (0,100),
    end = (0,100),
    size = 30)

t2 = modelo.interval_var(
    optional = True,
    start = (0,100),
    end = (0,100),
    size = 30)

modelo.add(modelo.presence_of(t1)
+ modelo.presence_of(t2) == 1)
```



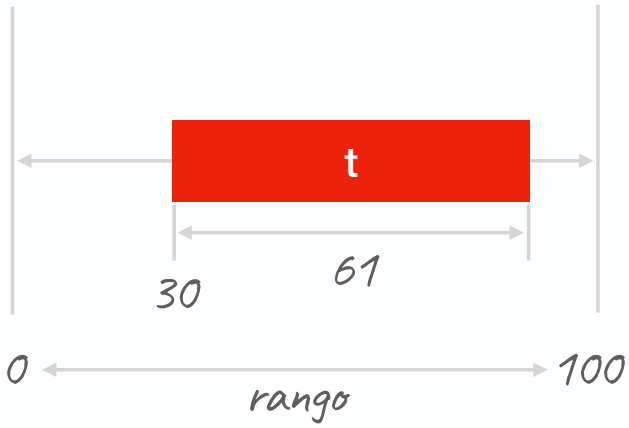
```
t = modelo.interval_var(
    start = (0,100),
    end = (0,100),
    size = 61,
    name = 't')


modelo.add(modelo.start_of(t)==30)
```

start_of

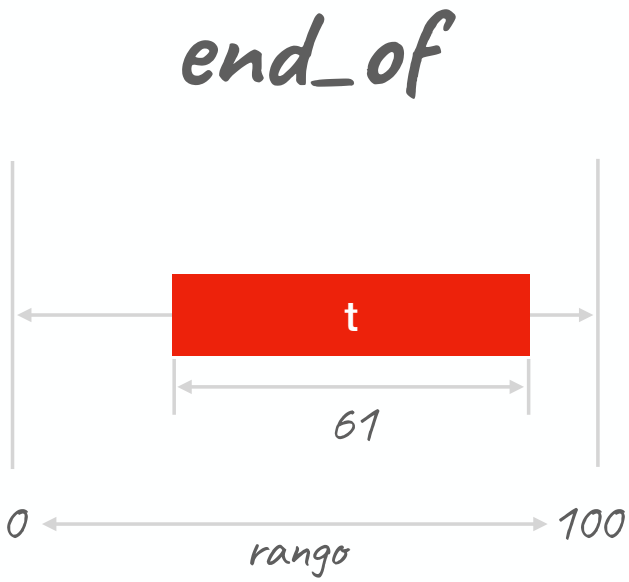



```
t = modelo.interval_var(
    start = (0,100),
    end = (0,100),
    size = 61,
    name = 't')


modelo.add(modelo.start_of(t)==30)
```

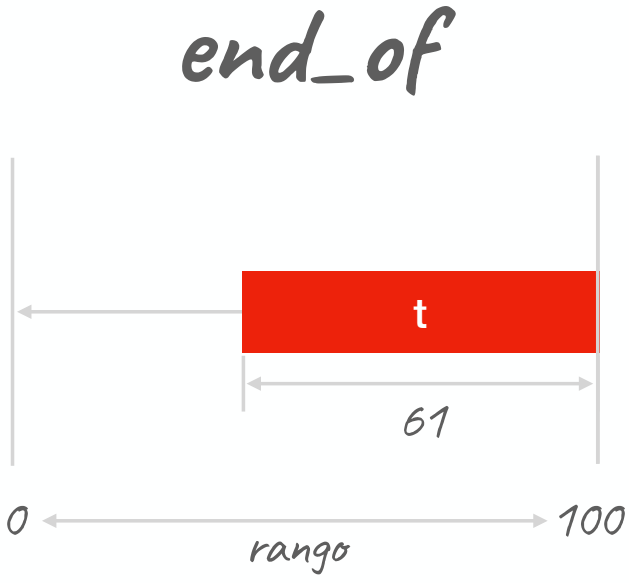
start_of



```
t = modelo.interval_var(
    start = (0,100),
    end = (0,100),
    size = 61,
    name = 't')


modelo.add(modelo.end_of(t)==100)
```

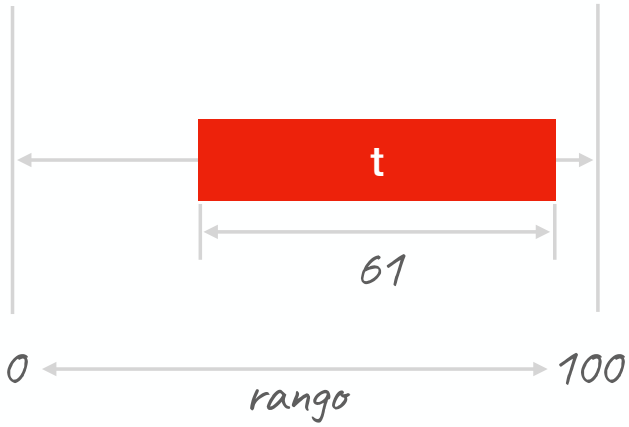



```
t = modelo.interval_var(
    start = (0,100),
    end = (0,100),
    size = 61,
    name = 't')


modelo.add(modelo.end_of(t)==100)
```

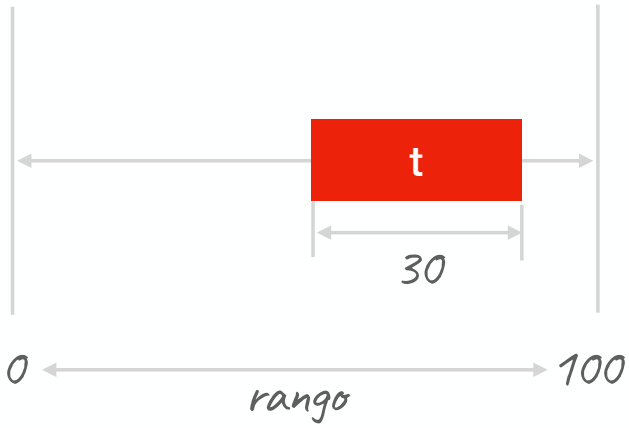
```
t = modelo.interval_var(
    start = (0,100),
    end = (0,100),
    size = 61,
    name = 't')


modelo.add(modelo.size_of(t)==30)
```

size_of



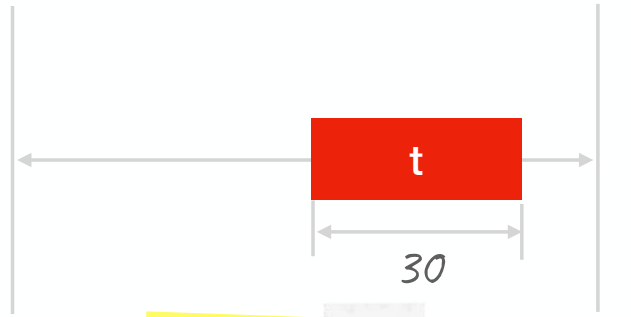

```
t = modelo.interval_var(
    start = (0,100),
    end = (0,100),
    name = 't')


modelo.add(modelo.size_of(t)==30)
```

size_of



length_of

```
t = modelo.interval_var(
      start = (0,100),
      end = (0,100),
      name = 't')


modelo.add(
          modelo.length_of(t)==30)
```



por ahora length = size pero más adelante veremos que no siempre es así

resumen

```
t = modelo.interval_var(
        optional, start,
        end, size, name)

modelo.start_of(t, x)

modelo.end_of(t, x)

modelo.size_of(t, x)

modelo.length_of(t, x)

modelo.presence_of(t)
```

x es un valor optativo y si se utiliza será el valor que devuelva si el intervalo no esta presente

DEMO 4

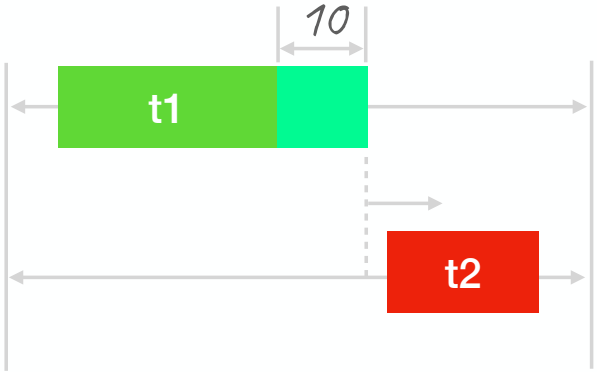
relaciones de precedencia ...

relaciones de precedencia

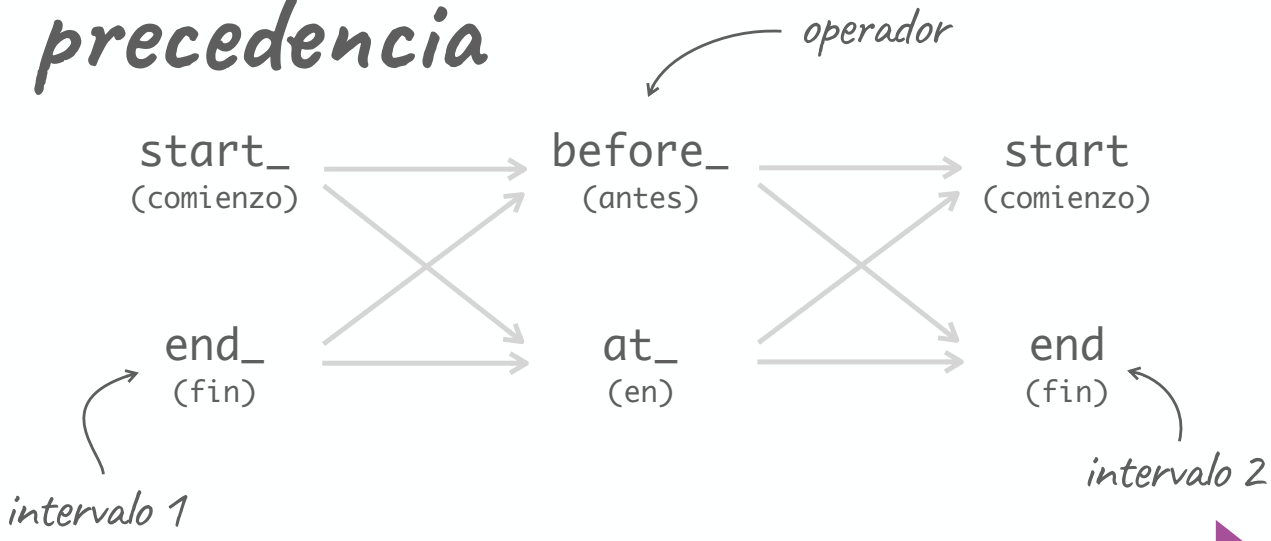
```
modelo.add(modelo.end_before_start
(t1, t2, 10))
```

este parámetro es optativo

```
modelo.add(modelo.start_of(t2) >=
modelo.end_of(t1) + 10)
```



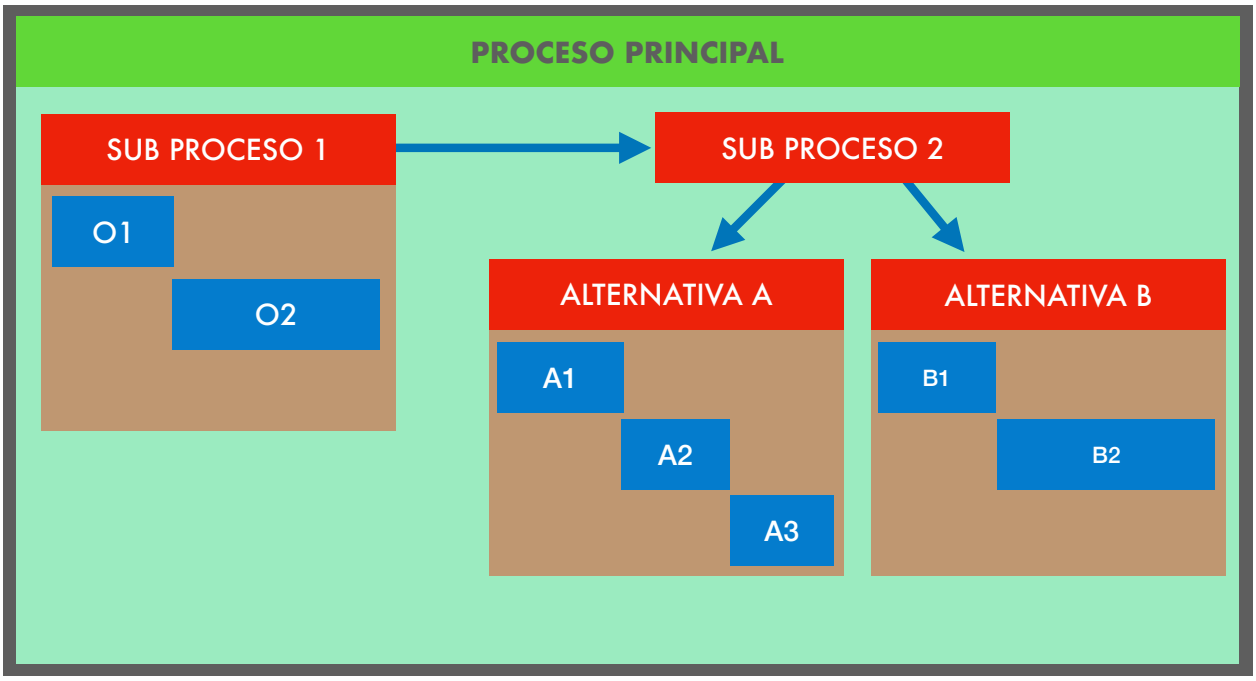
relaciones de precedencia




```
modelo.instrucción(t1, t2, margen)
```

DEMO 5

relaciones de jerarquía ...

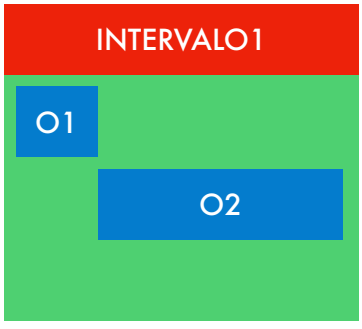


span (incluir)

actividad "padre"

```
modelo.span(ppal,[operaciones])
```

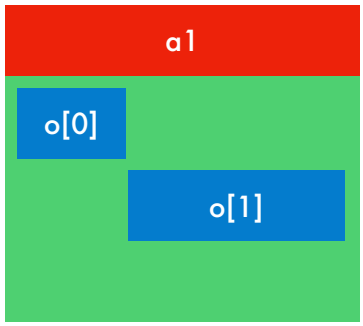
"array" de intervalos



si intervalo1 no esta activo, tampoco lo estarán los intervalos hijos (o1 y o2)

span (incluir)

```
a1 = modelo.interval_var
(name = 'a1')

o = [modelo.interval_var
(name='op'+str(i)) for i in
range(2)]

o[0].set_size(12)
o[1].set_size(40)

modelo.add(modelo.end_before_start
(o[0], o[1]))

modelo.add(
  modelo.span(a1, o)
)
```



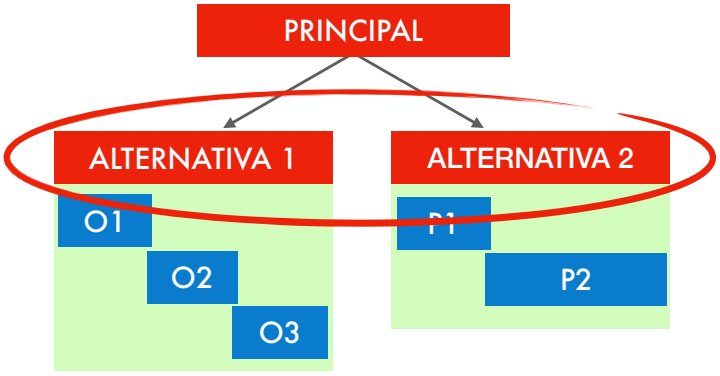
relaciones de precedencia y configuración

alternativas

cantidad de alternativas aceptadas

```
modelo.alternative(ppal,[alter], x)
```

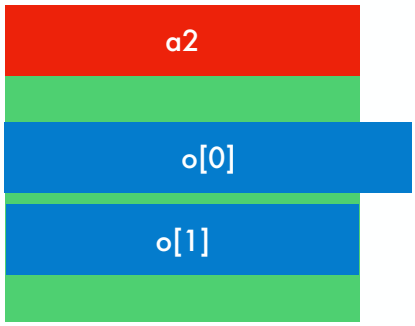
"array" de intervalos alternativos opcionales



si "principal" no esta activa, tampoco lo estarán las actividades alternativas

alternativas

```
d = [12, 10]

a2 = modelo.interval_var(
  name = 'a2')

o = [modelo.interval_var(
  optional = True,
  size = d[i],
  name = 'o'+str(i))
  for i in range(2)]

modelo.add(
  modelo.alternative(a2, o)
)
```



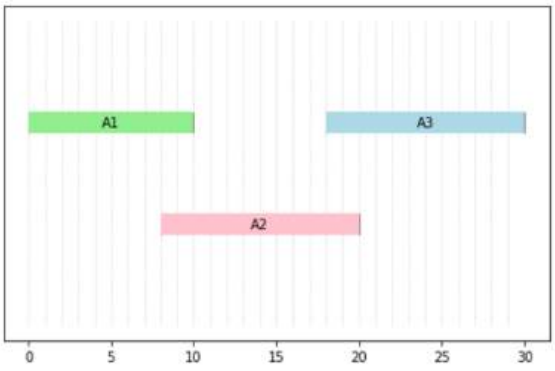
DEMO 6

docplex tiene su propio visualizador ...

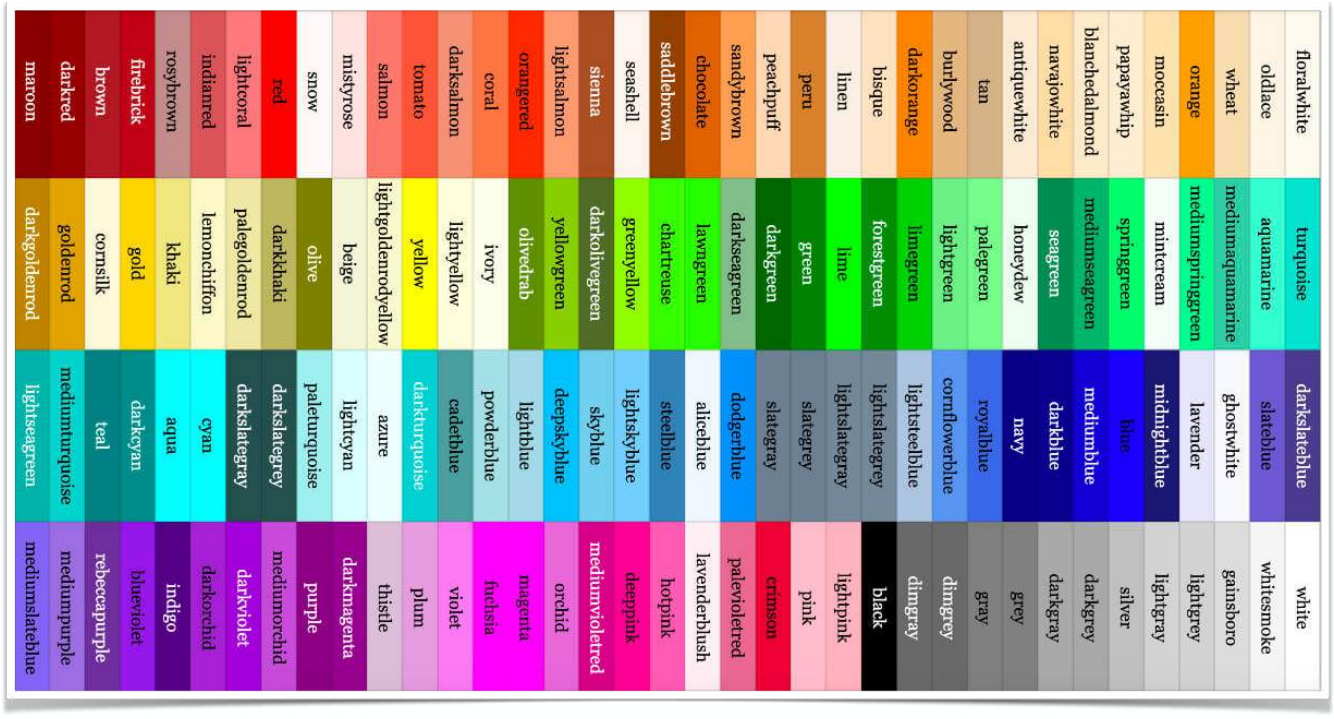
visu *diagramas de gantt*

```
import docplex.cp.utils_visu as visu

visu.interval(0,  10, 'lightgreen', 'A1')
visu.interval(8,  20, 'pink', 'A2')
visu.interval(18, 30, 'lightblue', 'A3')

visu.show()
```

esto se puede reemplazar por las variables tipo intervalo



DEMO 7



bibliografía y otros ...

[Python] IBM CPO

https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio/cplex-cp-optimizer

https://ibmdecisionoptimization.github.io/docplex-doc/cp/docplex.cp.modeler.py.html

[Investigación Operativa 3] VIDEOS

clase de hoy pero con optimization studio

próxima clase pero en el video es con optimization studio

próxima clase:

clase presencial

más de scheduling y presentación de resultados e informes

INVESTIGACIÓN
OPERATIVA
SUPERIOR

¡muchas gracias!

[intervalo]