

Trabajo Práctico 1

[71.14/91.04] Modelos y Optimización I
Curso Viernes
Segundo cuatrimestre de 2018

Carlos Navarro
Andrés Otero
Federico Brasburg

Alumno:	BRAVO ARROYO, Víctor	ROMERO, Maximiliano
Padrón:	98882	99118

Índice

1. Parte A	2
1.1. Análisis	2
1.2. Objetivo	2
1.3. Hipótesis	2
1.4. Modelo de programación lineal continua	3
1.4.1. Subíndices utilizados	3
1.4.2. Variables	4
1.4.3. Variables bivalentes	4
1.4.4. Formulación matemática	4
1.5. Modelo en computadora (GLPK)	5
1.5.1. Modelo	5
1.5.2. Datos	13
1.6. Resolución	15
1.7. Análisis de la solución	16
2. Parte B	18
2.1. Análisis	18
2.2. Objetivo	18
2.3. Hipótesis	18
2.4. Modelo de programación lineal continua	19
2.4.1. Variables	19
2.4.2. Formulación matemática	19
2.5. Modelo en computadora (GLPK)	19
2.6. Resolución	20
2.7. Análisis de la solución	21

1. Parte A

1.1. Análisis

En esta parte del trabajo práctico, consta de un problema de 'Stock de la capacidad de producción' de una de las maravillas presentes en el juego de carta '7 Wonders'

1.2. Objetivo

Determinar las cartas a utilizar en una partida del juego '7 Wonders', con su respectivo orden, para maximizar la cantidad de puntos obtenidos luego de finalizar dicha partida, y el uso de los recursos.

1.3. Hipótesis

- El banco tiene disponible monedas de manera infinita, por lo que siempre que se quiera no usar una carta, se podrá cambiar por 3 monedas.
- Tanto la materia prima como los productos manufacturados están disponibles de manera infinita para su compra.
- No hay pérdida de materiales en la construcción de las estructuras.
- Ni materia prima ni los productos manufacturados acumulados no sufren pérdidas.
- Las construcciones no sufren daños a lo largo de los turnos.
- El jugador no abandona la partida.
- La maravilla se juega del lado A.
- Todas las cartas que figuran en el Excel se pueden utilizar una vez, y siempre tendremos la posibilidad de elegir entre las restantes. Es decir, no hay otro jugador que saque una carta del mazo impidiéndonos jugarla en otro turno.
- No hay ninguna modificación en los mazos de cada Era.
- La materia prima comprada llega en el mismo turno y sólo se puede utilizar en el mismo.
- No existen restricciones en la cantidad de turnos en los que no se utiliza ninguna carta.
- En el caso de no usar una carta en el turno para obtener 3 monedas a cambio, no es necesario desprenderse de una carta.
- Todos los costos de las cartas como de su especialidad, permanecen constantes.
- El tablero utilizado es 'Las Pirámides de Giza'. La cuál produce un materia prima del tipo cemento por turno (no acumulable), y sus niveles de desarrollo tienen un costo de:
 - Nivel 1: 2 Cementos.
 - Nivel 2: 3 Oros.
 - Nivel 3: 4 Cementos.
- No es necesario desarrollar algún nivel de la maravilla para poder ganar.
- No existen restricciones con respecto a la necesidad de tener por lo menos una carta de cada tipo ('Materia Prima', 'Productos Manufacturados', 'Edificios Civiles' y 'Edificios Científicos').
- Los recursos que producen los productos manufacturados no son acumulables. Por ejemplo, si en un turno tengo un recurso del tipo "Tela" disponible, al siguiente sigo teniendo una tela disponible para usar y no dos.

1.4. Modelo de programación lineal continua

Dado que la cantidad de variables usadas es considerable procederemos a mostrarlas en distintas tablas detallando su uso.

1.4.1. Subíndices utilizados

Subíndice (set)	Descripción	Valores
Eras	Indica a que era pertenece la variable	1, 2, 3
CartasEraI	Indica el número de carta, según el excel, de la era I. Se añaden 6 cartas nulas en el caso de que el jugador no desee jugar una carta.	1..24
CartasEraII	Idem anterior, pero para era II	1..21
CartasEraIII	Idem anterior, pero para era III	1..17
TiposDeCosto	Indica a que atributo está asociado el costo	'MON' 'CEM' 'TEL' 'CER' 'PAP' 'MAD' 'LAD' 'ORO';
TiposDeEspecialidad	Indica alguno de todos los atributos posibles de una carta	'CEM' 'TEL' 'CER' 'PAP' 'MAD' 'LAD' 'ORO' 'PTO';
MateriaPrima	Indica alguna de las materias primas presentes en juego	'CEM' (cerámica) 'MAD' (madera) 'LAD' (ladrillo) 'ORO';
ProductosManufacturados	Indica alguno de los productos manufacturados presentes en el juego	'TEL' (tela) 'CER' (cerámica) 'PAP' (ladrillo)
ModoCarta	Indica los dos modos que puede tener una carta en el juego. Normal si es jugada. Maravilla si es usada para subir el nivel de la maravilla.	NOR MAR
NivelDeDesarrollo	Nivel alcanzado por la maravilla	1, 2, 3

1.4.2. Variables

Variable	Descripcion	Unidad
$\text{monedasDisponibles}_{i,j}$	Cantidad de monedas disponibles en la era i para turno j.	\$
$\text{gastoMonedas}_{i,j}$	Cantidad de monedas gastadas en la era i y turno j.	\$
monedasSobrantes	Cantidad de monedas sobrantes.	\$
$\text{recursosDisponibles}_{i,j,k}$	Cantidad de recursos disponibles para la era i, en turno j y para el tipo de costo k.	unidad
$\text{recursosComprados}_{i,j,k}$	Cantidad de recursos comprados para era ...idem anterior.	unidad
$\text{recursosRealizados}_{i,j,k}$	Cantidad de recursos realizados para era ...idem anterior	unidad
puntosMonedas	Cantidad de puntos obtenidos por monedas	puntos
geometricas	Cantidad de construcciones cientificas del tipo geometrica construidas.	unidad
ruedas	idem anterior, pero del tipo rueda	unidad
escrituras	idem anterior, pero del tipo escritura	unidad
triosDeSimbolos	Cantidad de simbolos que se encuentran de trios	unidad
desarrollo	???	
nivel_i	Nivel de desarrollo alcanzado por la maravilla. $i = 1..3$	unidad

1.4.3. Variables bivalentes

Variable Entera Bivalente	Condicion
$Y_{pe_{i,j,k}}$	Indica si se utilizó la carta i de la primera era en el turno j en el modo k con $i = 1..24$, $j = 1..6$, $k = \text{NOR, MAR}$
$Y_{se_{i,j,k}}$	Idem anterior, pero para segunda era.
$Y_{te_{i,j,k}}$	Idem anterior, pero para tercera era.
Y_{g_i}	Es 1 si la cantidad de símbolos de tipo Geométrico es i. Con $i = 1..4$
Y_{r_i}	Es 1 si la cantidad de símbolos de tipo Rueda es i. Con $i = 1..4$
Y_{e_i}	Es 1 si la cantidad de símbolos de tipo Rueda es i. Con $i = 1..5$

1.4.4. Formulación matemática

Funcional

$$\begin{aligned}
Z_{max} = & \sum_{i \in \text{CartasEraI}} \sum_{j \in \text{Turnos}} \text{EspecialidadesEraI}_{i,PTO} * Y_{pe_{i,j},NOR} \\
& + \sum_{i \in \text{CartasEraII}} \sum_{j \in \text{Turnos}} \text{EspecialidadesEraII}_{i,PTO} * Y_{se_{i,j},NOR} \\
& + \sum_{i \in \text{CartasEraIII}} \sum_{j \in \text{Turnos}} \text{EspecialidadesEraIII}_{i,PTO} * Y_{te_{i,j},NOR} \\
& + 1 * (Y_{g1} + Y_{r1} + Y_{e1}) + 4 * (Y_{g2} + Y_{r2} + Y_{e2}) \\
& + 9 * (Y_{g3} + Y_{r3} + Y_{e3}) + 16 * (Y_{g4} + Y_{r4} + Y_{e4}) + 25 * Y_{e5} \\
& + \text{puntosMonedas} + 7 * \text{TrioDeSimbolos} \\
& + 3 * \text{nivel}_1 + 5 * \text{nivel}_2 + 7 * \text{nivel}_3
\end{aligned} \tag{1}$$

1.5. Modelo en computadora (GLPK)

1.5.1. Modelo

Listing 1: ParteA.mod

```

1 set Eras;
2 set CartasEraI;
3 set CartasEraII;
4 set CartasEraIII;
5 set Turnos;
6 set TiposDeCosto;
7 set TiposDeEspecialidad;
8 set MateriaPrima;
9 set ProductosManufacturados;
10
11 set ModoDeCarta;
12 set NivelesDeDesarrollo; #1 2 3
13
14 #set TiposDeCosto := MON CEM TEL CER PAP MAD LAD ORO;
15 #set TiposDeEspecialidad := 'CEM' 'TEL' 'CER' 'PAP' 'MAD' 'LAD' 'ORO' 'PTO' 'GEO'
    'RUE' 'ESC';
16
17 var Ype{i in CartasEraI, j in Turnos, k in ModoDeCarta} >= 0, binary;
18 var Yse{i in CartasEraII, j in Turnos, k in ModoDeCarta} >= 0, binary;
19 var Yte{i in CartasEraIII, j in Turnos, k in ModoDeCarta} >= 0, binary;
20
21 #Monedas
22 var monedasDisponibles{i in Eras, j in Turnos} >= 0, integer;
23 var gastoMonedas{i in Eras, j in Turnos} >= 0, integer;
24 var monedasSobrantes >= 0, integer;
25
26 #Recursos
27 var recursosDisponibles{i in Eras, j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'} >= 0,
    integer;
28 var recursosComprados{i in Eras, j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'} >= 0,
    integer;
29 var recursosRealizados{i in Eras, j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'} >= 0,
    integer;
30
31 #Puntos
32 var puntosMonedas >= 0, integer;
33
34
35 #Simbolos
36 var Geometricas >= 0, integer;
37 var Yg1 >= 0, binary;
38 var Yg2 >= 0, binary;
39 var Yg3 >= 0, binary;

```

```

40 var Yg4 >= 0, binary;
41
42 var Ruedas >= 0, integer;
43 var Yr1 >= 0, binary;
44 var Yr2 >= 0, binary;
45 var Yr3 >= 0, binary;
46 var Yr4 >= 0, binary;
47
48 var Escrituras >= 0, integer;
49 var Ye1 >= 0, binary;
50 var Ye2 >= 0, binary;
51 var Ye3 >= 0, binary;
52 var Ye4 >= 0, binary;
53 var Ye5 >= 0, binary;
54
55 #Cantidad de Trios de Simbolos
56 var TrioDeSimbolos >= 0, integer;
57
58
59 #Desarrollo de Maravilla:
60 var desarrollo >= 0, integer;
61 var nivel{i in NivelesDeDesarrollo} >= 0 binary;
62
63 #Costos por Era:
64 param CostosEraI{i in CartasEraI, j in TiposDeCosto};
65 param CostosEraII{i in CartasEraII, j in TiposDeCosto};
66 param CostosEraIII{i in CartasEraIII, j in TiposDeCosto};
67
68 #CostoDeMaravilla:
69 param CostosMaravilla{i in NivelesDeDesarrollo, j in MateriaPrima};
70
71 #Especialidades por Era:
72 param EspecialidadesEraI{i in CartasEraI, j in TiposDeEspecialidad};
73 param EspecialidadesEraII{i in CartasEraII, j in TiposDeEspecialidad};
74 param EspecialidadesEraIII{i in CartasEraIII, j in TiposDeEspecialidad};
75
76
77 maximize z: sum{i in CartasEraI, j in
    Turnos}EspecialidadesEraI[i,'PTO']*Ype[i,j,'NOR'] +
78     sum{i in CartasEraII, j in
    Turnos}EspecialidadesEraII[i,'PTO']*Yse[i,j,'NOR'] +
79     sum{i in CartasEraIII, j in Turnos}EspecialidadesEraIII[i,
    'PTO']*Yte[i,j,'NOR'] +
80     1*(Yg1 + Yr1 + Ye1) + 4*(Yg2 + Yr2 + Ye2) + 9*(Yg3 + Yr3 + Ye3) +
    16*(Yg4 + Yr4 + Ye4) +
81     25*Ye5 + puntosMonedas + 7*TrioDeSimbolos + 3*nivel[1] + 5*nivel[2] +
    7*nivel[3];
82
83
84 #Desarrollo de Maravilla:
85 s.t. nivelesMaximos: desarrollo <= 3;
86 s.t. nivelesDesarrollo: desarrollo = sum{i in NivelesDeDesarrollo}nivel[i];
87 s.t. desarrolloMaravillas: sum{i in CartasEraI, j in Turnos}Ype[i,j,'MAR'] + sum{k
    in CartasEraII, l in Turnos}Yse[k,l,'MAR']
88     + sum{m in CartasEraIII, n in Turnos}Yte[m,n,'MAR'] = desarrollo;
89 s.t. ordenDesarrollo1: nivel[2] <= nivel[1];
90 s.t. ordenDesarrollo2: nivel[3] <= nivel[2];
91
92
93 #ERA I:
94 s.t. eleccionCartaEIT{j in Turnos}: sum{i in CartasEraI, k in
    ModoDeCarta}Ype[i,j,k] = 1; #SOLO UNA CARTA POR TURNO
95 s.t. soloUnaCartaEraI{i in CartasEraI}: sum{j in Turnos,k in
    ModoDeCarta}Ype[i,j,k] <= 1; #SOLO UNA CARTA DE ESE TIPO POR ERA o NINGUNA
96 s.t. utilizMonedas{i in CartasEraI, j in Turnos}:
    CostosEraI[i,'MON']*Ype[i,j,'NOR'] <= monedasDisponibles[1,j]; #CALCULO POR
    TURNO DE POSIBIL.

```

```

97 s.t. monedasUsadasE1T{j in Turnos}: gastoMonedas[1,j] = sum{i in
    CartasEraI}(CostosEraI[i,'MON']*Ype[i,j,'NOR']) +
98     sum{m in MateriaPrima}(1*recursosComprados[1,j,m]) +
99     sum{p in ProductosManufacturados}(2*recursosComprados[1,j,p]); #CALCULO DE
    MONEDAS USADAS
100
101
102
103 #TURNO 1:
104 s.t. monedasIniciales: monedasDisponibles[1,1] = 3;
105 s.t. dispRecursosIniciales{k in TiposDeCosto: k<>'MON' and k<>'CEM'}:
    recursosDisponibles[1,1,k] = 0;
106 s.t. cementoInicial: recursosDisponibles[1,1,'CEM'] = 1;
107 s.t. utilizRec{i in CartasEraI, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraI[i,k]*Ype[i,1,'NOR'] <= recursosDisponibles[1,1,k] +
    recursosComprados[1,1,k];
108
109 s.t. utiliRecMarE1T1{i in CartasEraI, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Ype[i,1,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[1,1,k] + recursosComprados[1,1,k];
110
111
112 #TURNO 2:
113 s.t. dispRecE1T2{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[1,2,k] =
    recursosDisponibles[1,1,k] + sum{i in
    CartasEraI}(EspecialidadesEraI[i,k]*Ype[i,1,'NOR']);# +
    recursosComprados[1,1,k];
114 s.t. utilizRecE1T2{i in CartasEraI, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraI[i,k]*Ype[i,2,'NOR'] <= recursosDisponibles[1,2,k] +
    recursosComprados[1,2,k];
115 s.t. monedasDisponiblesE1T2: monedasDisponibles[1,2] = monedasDisponibles[1,1] -
    gastoMonedas[1,1] + sum{i in CartasEraI: i >= 19}3*Ype[i,1,'NOR'];
116
117 s.t. utiliRecMarE1T2{i in CartasEraI, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Ype[i,2,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[1,2,k] + recursosComprados[1,2,k];
118
119 #TURNO 3:
120 s.t. dispRecE1T3{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[1,3,k] =
    recursosDisponibles[1,2,k] + sum{i in
    CartasEraI}(EspecialidadesEraI[i,k]*Ype[i,2,'NOR']);# +
    recursosComprados[1,2,k];
121 s.t. utilizRecE1T3{i in CartasEraI, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraI[i,k]*Ype[i,3,'NOR'] <= recursosDisponibles[1,3,k] +
    recursosComprados[1,3,k];
122 s.t. monedasDisponiblesE1T3: monedasDisponibles[1,3] = monedasDisponibles[1,2] -
    gastoMonedas[1,2] + sum{i in CartasEraI: i >= 19}3*Ype[i,2,'NOR'];
123
124 s.t. utiliRecMarE1T3{i in CartasEraI, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Ype[i,3,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[1,3,k] + recursosComprados[1,3,k];
125
126 #TURNO 4:
127 s.t. dispRecE1T4{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[1,4,k] =
    recursosDisponibles[1,3,k] + sum{i in
    CartasEraI}(EspecialidadesEraI[i,k]*Ype[i,3,'NOR']);# +
    recursosComprados[1,3,k];
128 s.t. utilizRecE1T4{i in CartasEraI, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraI[i,k]*Ype[i,4,'NOR'] <= recursosDisponibles[1,4,k] +
    recursosComprados[1,4,k];
129 s.t. monedasDisponiblesE1T4: monedasDisponibles[1,4] = monedasDisponibles[1,3] -
    gastoMonedas[1,3] + sum{i in CartasEraI: i >= 19}3*Ype[i,3,'NOR'];
130
131 s.t. utiliRecMarE1T4{i in CartasEraI, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Ype[i,4,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[1,4,k] + recursosComprados[1,4,k];
132

```



```

133 #TURNO 5:
134 s.t. dispRecE1T5{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[1,5,k] =
    recursosDisponibles[1,4,k] + sum{i in
    CartasEraI}(EspecialidadesEraI[i,k]*Ype[i,4,'NOR']);# +
    recursosComprados[1,4,k];
135 s.t. utilizRecE1T5{i in CartasEraI, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraI[i,k]*Ype[i,5,'NOR'] <= recursosDisponibles[1,5,k] +
    recursosComprados[1,5,k];
136 s.t. monedasDisponiblesE1T5: monedasDisponibles[1,5] = monedasDisponibles[1,4] -
    gastoMonedas[1,4] + sum{i in CartasEraI: i >= 19}3*Ype[i,4,'NOR'];
137
138 s.t. utiliRecMarE1T5{i in CartasEraI, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Ype[i,5,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[1,5,k] + recursosComprados[1,5,k];
139
140 #TURNO 6:
141 s.t. dispRecE1T6{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[1,6,k] =
    recursosDisponibles[1,5,k] + sum{i in
    CartasEraI}(EspecialidadesEraI[i,k]*Ype[i,5,'NOR']);# +
    recursosComprados[1,5,k];
142 s.t. utilizRecE1T6{i in CartasEraI, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraI[i,k]*Ype[i,6,'NOR'] <= recursosDisponibles[1,6,k] +
    recursosComprados[1,6,k];
143 s.t. monedasDisponiblesE1T6: monedasDisponibles[1,6] = monedasDisponibles[1,5] -
    gastoMonedas[1,5] + sum{i in CartasEraI: i >= 19}3*Ype[i,5,'NOR'];
144
145 s.t. utiliRecMarE1T6{i in CartasEraI, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Ype[i,6,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[1,6,k] + recursosComprados[1,6,k];
146
147 #ERA II:
148 s.t. eleccionCartaE2T{j in Turnos}: sum{i in CartasEraII, k in
    ModoDeCarta}Yse[i,j,k] = 1; #SOLO UNA CARTA POR TURNO
149 s.t. soloUnaCartaEra2{i in CartasEraII}: sum{j in Turnos,k in
    ModoDeCarta}Yse[i,j,k] <= 1; #SOLO UNA CARTA DE ESE TIPO POR ERA o NINGUNA
150 s.t. utilizMonedasE2{i in CartasEraII, j in Turnos}:
    CostosEraII[i,'MON']*Yse[i,j,'NOR'] <= monedasDisponibles[2,j]; #CALCULO POR
    TURNO DE POSIBIL.
151 s.t. monedasUsadasE2T{j in Turnos}: gastoMonedas[2,j] = sum{i in
    CartasEraII}(CostosEraII[i,'MON']*Yse[i,j,'NOR']) + sum{m in
    MateriaPrima}(1*recursosComprados[2,j,m]) + sum{p in
    ProductosManufacturados}(2*recursosComprados[2,j,p]); #CALCULO DE MONEDAS
    USADAS
152
153 s.t. utilizRecE2T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraII[13,k]*Yse[13,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,j,k] +
    recursosComprados[2,j,k];
154
155 s.t. AqueductE2T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraII[8,k]*Yse[8,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,j,k] +
    recursosComprados[2,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Ype[13,i,'NOR']; #GASTO DE
    AQUEDUCT
156
157 s.t. TempleE2T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraII[9,k]*Yse[9,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,j,k] +
    recursosComprados[2,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Ype[12,i,'NOR']; #GASTO DE
    TEMPLE
158
159 s.t. StatueE2T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraII[10,k]*Yse[10,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,j,k] +
    recursosComprados[2,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Ype[15,i,'NOR']; #GASTO DE
    STATUE
160
161 s.t. CourthouseE2T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraII[11,k]*Yse[11,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,j,k] +
    recursosComprados[2,j,k] + sum{i in Turnos}(5000*Ype[18,i,'NOR']); #GASTO DE
    COURTHOUSE

```

```

162
163 s.t. DispensaryE2T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraII[12,k]*Yse[12,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,j,k] +
    recursosComprados[2,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Ype[16,i,'NOR']; #GASTO DE
    DISPENSARY
164
165 s.t. LaboratoryE2T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraII[14,k]*Yse[14,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,j,k] +
    recursosComprados[2,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Ype[17,i,'NOR']; #GASTO DE
    LABORATORY
166
167 s.t. LibraryE2T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraII[15,k]*Yse[15,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,j,k] +
    recursosComprados[2,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Ype[18,i,'NOR']; #GASTO DE
    LIBRARY
168
169 #TURNO 1:
170 s.t. dispRecE2T1{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[2,1,k] =
    recursosDisponibles[1,6,k] + sum{i in
    CartasEraI}(EspecialidadesEraI[i,k]*Ype[i,6,'NOR']);# +
    recursosComprados[1,6,k];
171 s.t. utilizRecE2T1{i in CartasEraII, k in TiposDeCosto: i<=7 and k<>'MON'}:
    CostosEraII[i,k]*Yse[i,1,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,1,k] +
    recursosComprados[2,1,k];
172 s.t. monedasDisponiblesE2T1: monedasDisponibles[2,1] = monedasDisponibles[1,6] -
    gastoMonedas[1,6] + sum{i in CartasEraI: i >= 19}3*Ype[i,6,'NOR'];
173
174
175 s.t. utiliRecMarE2T1{i in CartasEraII, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yse[i,1,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[2,1,k] + recursosComprados[2,1,k];
176
177 #TURNO 2:
178 s.t. dispRecE2T2{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[2,2,k] =
    recursosDisponibles[2,1,k] + sum{i in
    CartasEraII}(EspecialidadesEraII[i,k]*Yse[i,1,'NOR']);# +
    recursosComprados[2,1,k];
179 s.t. utilizRecE2T2{i in CartasEraII, k in TiposDeCosto: i<=7 and k<>'MON'}:
    CostosEraII[i,k]*Yse[i,2,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,2,k] +
    recursosComprados[2,2,k];
180 s.t. monedasDisponiblesE2T2: monedasDisponibles[2,2] = monedasDisponibles[2,1] -
    gastoMonedas[2,1] + sum{i in CartasEraII: i >= 16}3*Yse[i,1,'NOR'];
181
182 s.t. utiliRecMarE2T2{i in CartasEraII, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yse[i,2,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[2,2,k] + recursosComprados[2,2,k];
183
184 #TURNO 3:
185 s.t. dispRecE2T3{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[2,3,k] =
    recursosDisponibles[2,2,k] + sum{i in
    CartasEraII}(EspecialidadesEraII[i,k]*Yse[i,2,'NOR']);# +
    recursosComprados[2,2,k];
186 s.t. utilizRecE2T3{i in CartasEraII, k in TiposDeCosto: i<=7 and k<>'MON'}:
    CostosEraII[i,k]*Yse[i,3,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,3,k] +
    recursosComprados[2,3,k];
187 s.t. monedasDisponiblesE2T3: monedasDisponibles[2,3] = monedasDisponibles[2,2] -
    gastoMonedas[2,2] + sum{i in CartasEraII: i >= 16}3*Yse[i,2,'NOR'];
188
189 s.t. utiliRecMarE2T3{i in CartasEraII, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yse[i,3,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[2,3,k] + recursosComprados[2,3,k];
190
191 #TURNO 4:
192 s.t. dispRecE2T4{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[2,4,k] =
    recursosDisponibles[2,3,k] + sum{i in
    CartasEraII}(EspecialidadesEraII[i,k]*Yse[i,3,'NOR']);# +
    recursosComprados[2,3,k];

```

```

193 s.t. utilizRecE2T4{i in CartasEraII, k in TiposDeCosto: i<=7 and k<>'MON'}:
    CostosEraII[i,k]*Yse[i,4,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,4,k] +
    recursosComprados[2,4,k];
194 s.t. monedasDisponiblesE2T4: monedasDisponibles[2,4] = monedasDisponibles[2,3] -
    gastoMonedas[2,3] + sum{i in CartasEraII: i >= 16}3*Yse[i,3,'NOR'];
195
196 s.t. utiliRecMarE2T4{i in CartasEraII, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yse[i,4,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[2,4,k] + recursosComprados[2,4,k];
197
198 #TURNO 5:
199 s.t. dispRecE2T5{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[2,5,k] =
    recursosDisponibles[2,4,k] + sum{i in
    CartasEraII}(EspecialidadesEraII[i,k]*Yse[i,4,'NOR']);# +
    recursosComprados[2,4,k];
200 s.t. utilizRecE2T5{i in CartasEraII, k in TiposDeCosto: i<=7 and k<>'MON'}:
    CostosEraII[i,k]*Yse[i,5,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,5,k] +
    recursosComprados[2,5,k];
201 s.t. monedasDisponiblesE2T5: monedasDisponibles[2,5] = monedasDisponibles[2,4] -
    gastoMonedas[2,4] + sum{i in CartasEraII: i >= 16}3*Yse[i,4,'NOR'];
202
203 s.t. utiliRecMarE2T5{i in CartasEraII, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yse[i,5,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[2,5,k] + recursosComprados[2,5,k];
204
205
206 #TURNO 6:
207 s.t. dispRecE2T6{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[2,6,k] =
    recursosDisponibles[2,5,k] + sum{i in
    CartasEraII}(EspecialidadesEraII[i,k]*Yse[i,5,'NOR']);# +
    recursosComprados[2,5,k];
208 s.t. utilizRecE2T6{i in CartasEraII, k in TiposDeCosto: i<=7 and k<>'MON'}:
    CostosEraII[i,k]*Yse[i,6,'NOR'] <= recursosDisponibles[2,6,k] +
    recursosComprados[2,6,k];
209 s.t. monedasDisponiblesE2T6: monedasDisponibles[2,6] = monedasDisponibles[2,5] -
    gastoMonedas[2,5] + sum{i in CartasEraII: i >= 16}3*Yse[i,5,'NOR'];
210
211 s.t. utiliRecMarE2T6{i in CartasEraII, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yse[i,6,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[2,6,k] + recursosComprados[2,6,k];
212
213 #ERA III:
214 s.t. eleccionCartaE3T{j in Turnos}: sum{i in CartasEraIII, k in
    ModoDeCarta}Yte[i,j,k] = 1; #SOLO UNA CARTA POR TURNO
215 s.t. soloUnaCartaEra3{i in CartasEraIII}: sum{j in Turnos,k in
    ModoDeCarta}Yte[i,j,k] <= 1; #SOLO UNA CARTA DE ESE TIPO POR ERA o NINGUNA
216 s.t. utilizMonedasE3{i in CartasEraIII, j in Turnos}:
    CostosEraIII[i,'MON']*Yte[i,j,'NOR'] <= monedasDisponibles[3,j]; #CALCULO POR
    TURNO DE POSIBIL.
217 s.t. monedasUsadasE3T{j in Turnos}: gastoMonedas[3,j] = sum{i in
    CartasEraIII}(CostosEraIII[i,'MON']*Yte[i,j,'NOR']) + sum{m in
    MateriaPrima}(1*recursosComprados[3,j,m]) + sum{p in
    ProductosManufacturados}(2*recursosComprados[3,j,p]); #CALCULO DE MONEDAS
    USADAS
218
219 s.t. SenateE3T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraIII[3,k]*Yte[3,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,j,k] +
    recursosComprados[3,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Yse[15,i,'NOR']; #GASTO DE
    SENATE
220
221 s.t. PantheonE3T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraIII[4,k]*Yte[4,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,j,k] +
    recursosComprados[3,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Yse[9,i,'NOR']; #GASTO DE
    PANTHEON
222
223 s.t. GardensE3T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
    CostosEraIII[5,k]*Yte[5,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,j,k] +

```

```

recursosComprados[3,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Yse[10,i,'NOR']; #GASTO DE
GARDENS
224
225 s.t. UniversityE3T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
CostosEraIII[6,k]*Yte[6,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,j,k] +
recursosComprados[3,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Yse[15,i,'NOR']; #GASTO DE
UNIVERSITY
226
227 s.t. ObserbatoryE3T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
CostosEraIII[7,k]*Yte[7,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,j,k] +
recursosComprados[3,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Yse[14,i,'NOR']; #GASTO DE
OBSERVATORY
228
229 s.t. StudyE3T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
CostosEraIII[8,k]*Yte[8,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,j,k] +
recursosComprados[3,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Yse[13,i,'NOR']; #GASTO DE
STUDY
230
231 s.t. AcademyE3T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
CostosEraIII[9,k]*Yte[9,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,j,k] +
recursosComprados[3,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Yse[13,i,'NOR']; #GASTO DE
ACADEMY
232
233 s.t. LodgeE3T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
CostosEraIII[10,k]*Yte[10,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,j,k] +
recursosComprados[3,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Yse[12,i,'NOR']; #GASTO DE
LODGE
234
235 s.t. University2E3T{j in Turnos, k in TiposDeCosto: k<>'MON'}:
CostosEraIII[11,k]*Yte[11,j,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,j,k] +
recursosComprados[3,j,k] + 5000*sum{i in Turnos}Yse[15,i,'NOR']; #GASTO DE
UNIVERSITY2
236
237
238 #TURNO 1:
239 s.t. dispRecE3T1{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[3,1,k] =
recursosDisponibles[2,6,k] + sum{i in
CartasEraII}(EspecialidadesEraII[i,k]*Yse[i,6,'NOR']);# +
recursosComprados[2,6,k];
240 s.t. utilizRecE3T1{i in CartasEraIII, k in TiposDeCosto: i<=2 and k<>'MON'}:
CostosEraIII[i,k]*Yte[i,1,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,1,k] +
recursosComprados[3,1,k];
241 s.t. monedasDisponiblesE3T1: monedasDisponibles[3,1] = monedasDisponibles[2,6] -
gastoMonedas[2,6] + sum{i in CartasEraII: i >= 16}3*Yse[i,6,'NOR'];
242
243
244 s.t. utiliRecMarE3T1{i in CartasEraIII, k in MateriaPrima}: sum{n in
NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yte[i,1,'MAR'] <=
recursosDisponibles[3,1,k] + recursosComprados[3,1,k];
245
246 #TURNO 2:
247 s.t. dispRecE3T2{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[3,2,k] =
recursosDisponibles[3,1,k] + sum{i in
CartasEraIII}(EspecialidadesEraIII[i,k]*Yte[i,1,'NOR']);# +
recursosComprados[3,1,k];
248 s.t. utilizRecE3T2{i in CartasEraIII, k in TiposDeCosto: i<=2 and k<>'MON'}:
CostosEraIII[i,k]*Yte[i,2,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,2,k] +
recursosComprados[3,2,k];
249 s.t. monedasDisponiblesE3T2: monedasDisponibles[3,2] = monedasDisponibles[3,1] -
gastoMonedas[3,1] + sum{i in CartasEraIII: i >= 12}3*Yte[i,1,'NOR'];
250
251 s.t. utiliRecMarE3T2{i in CartasEraIII, k in MateriaPrima}: sum{n in
NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yte[i,2,'MAR'] <=
recursosDisponibles[3,2,k] + recursosComprados[3,2,k];
252
253 #TURNO 3:

```

```

254 s.t. dispRecE3T3{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[3,3,k] =
    recursosDisponibles[3,2,k] + sum{i in
    CartasEraIII}(EspecialidadesEraIII[i,k]*Yte[i,2,'NOR']);# +
    recursosComprados[3,2,k];
255 s.t. utilizRecE3T3{i in CartasEraIII, k in TiposDeCosto: i<=2 and k<>'MON'}:
    CostosEraIII[i,k]*Yte[i,3,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,3,k] +
    recursosComprados[3,3,k];
256 s.t. monedasDisponiblesE3T3: monedasDisponibles[3,3] = monedasDisponibles[3,2] -
    gastoMonedas[3,2] + sum{i in CartasEraIII: i >= 12}3*Yte[i,2,'NOR'];
257
258 s.t. utiliRecMarE3T3{i in CartasEraIII, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yte[i,3,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[3,3,k] + recursosComprados[3,3,k];
259
260
261 #TURNO 4:
262 s.t. dispRecE3T4{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[3,4,k] =
    recursosDisponibles[3,3,k] + sum{i in
    CartasEraIII}(EspecialidadesEraIII[i,k]*Yte[i,3,'NOR']);# +
    recursosComprados[3,3,k];
263 s.t. utilizRecE3T4{i in CartasEraIII, k in TiposDeCosto: i<=2 and k<>'MON'}:
    CostosEraIII[i,k]*Yte[i,4,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,4,k] +
    recursosComprados[3,4,k];
264 s.t. monedasDisponiblesE3T4: monedasDisponibles[3,4] = monedasDisponibles[3,3] -
    gastoMonedas[3,3] + sum{i in CartasEraIII: i >= 12}3*Yte[i,3,'NOR'];
265
266 s.t. utiliRecMarE3T4{i in CartasEraIII, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yte[i,4,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[3,4,k] + recursosComprados[3,4,k];
267
268 #TURNO 5:
269 s.t. dispRecE3T5{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[3,5,k] =
    recursosDisponibles[3,4,k] + sum{i in
    CartasEraIII}(EspecialidadesEraIII[i,k]*Yte[i,4,'NOR']);# +
    recursosComprados[3,4,k];
270 s.t. utilizRecE3T5{i in CartasEraIII, k in TiposDeCosto: i<=2 and k<>'MON'}:
    CostosEraIII[i,k]*Yte[i,5,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,5,k] +
    recursosComprados[3,5,k];
271 s.t. monedasDisponiblesE3T5: monedasDisponibles[3,5] = monedasDisponibles[3,4] -
    gastoMonedas[3,4] + sum{i in CartasEraIII: i >= 12}3*Yte[i,4,'NOR'];
272
273 s.t. utiliRecMarE3T5{i in CartasEraIII, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yte[i,5,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[3,5,k] + recursosComprados[3,5,k];
274
275 #TURNO 6:
276 s.t. dispRecE3T6{k in TiposDeCosto: k<>'MON'}: recursosDisponibles[3,6,k] =
    recursosDisponibles[3,5,k] + sum{i in
    CartasEraIII}(EspecialidadesEraIII[i,k]*Yte[i,5,'NOR']);# +
    recursosComprados[3,5,k];
277 s.t. utilizRecE3T6{i in CartasEraIII, k in TiposDeCosto: i<=2 and k<>'MON'}:
    CostosEraIII[i,k]*Yte[i,6,'NOR'] <= recursosDisponibles[3,6,k] +
    recursosComprados[3,6,k];
278 s.t. monedasDisponiblesE3T6: monedasDisponibles[3,6] = monedasDisponibles[3,5] -
    gastoMonedas[3,5] + sum{i in CartasEraIII: i >= 12}3*Yte[i,5,'NOR'];
279
280
281 s.t. utiliRecMarE3T6{i in CartasEraIII, k in MateriaPrima}: sum{n in
    NivelesDeDesarrollo}CostosMaravilla[n,k]*Yte[i,6,'MAR'] <=
    recursosDisponibles[3,6,k] + recursosComprados[3,6,k];
282
283
284 s.t. monedasSob: monedasSobrantes = monedasDisponibles[3,6] - gastoMonedas[3,6] +
    sum{i in CartasEraIII: i >= 12}3*Yte[i,6,'NOR'];
285
286 #RECOLECCION DE PUNTOS:

```

```

287 s.t. cantidadGeometricas: Geometricas = sum{j in Turnos}(Yte[9,j,'NOR'] +
    Yte[10,j,'NOR'] + Yse[12,j,'NOR'] + Ype[16,j,'NOR']);
288 s.t. geometricas: Geometricas = Yg1 + 2*Yg2 + 3*Yg3 + 4*Yg4;
289 s.t. soloUnValorGeom: Yg1 + Yg2 + Yg3 + Yg4 <= 1;
290
291 s.t. cantidadRuedas: Ruedas = sum{j in Turnos}(Yte[7,j,'NOR'] + Yte[8,j,'NOR'] +
    Yse[14,j,'NOR'] + Ype[17,j,'NOR']);
292 s.t. ruedas: Ruedas = Yr1 + 2*Yr2 + 3*Yr3 + 4*Yr4;
293 s.t. soloUnValorRued: Yr1 + Yr2 + Yr3 + Yr4 <= 1;
294
295 s.t. cantidadEscrituras: Escrituras = sum{j in Turnos}(Yte[6,j,'NOR'] +
    Yte[11,j,'NOR'] + Yse[13,j,'NOR'] + Yse[15,j,'NOR'] + Ype[18,j,'NOR']);
296 s.t. escrituras: Escrituras = Ye1 + 2*Ye2 + 3*Ye3 + 4*Ye4 + 5*Ye5;
297 s.t. soloUnValorEsc: Ye1 + Ye2 + Ye3 + Ye4 + Ye5 <= 1;
298
299 s.t. puntosPorMonedas: puntosMonedas <= (1/3)*monedasSobrantes;
300
301 s.t. trioDeSimbolos: TrioDeSimbolos <= 4;
302 s.t. minGeometricas: TrioDeSimbolos <= Geometricas;
303 s.t. minRuedas: TrioDeSimbolos <= Ruedas;
304 s.t. minEscrituras: TrioDeSimbolos <= Escrituras;
305
306 end;

```

1.5.2. Datos

Listing 2: ParteA.dat

```

1 data;
2
3 set Eras := 1 2 3;
4 set CartasEraI := 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24;
5 set CartasEraII := 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21;
6 set CartasEraIII := 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17;
7 set Turnos := 1 2 3 4 5 6;
8
9 set TiposDeCosto := 'MON' 'CEM' 'TEL' 'CER' 'PAP' 'MAD' 'LAD' 'ORO';
10 set TiposDeEspecialidad := 'CEM' 'TEL' 'CER' 'PAP' 'MAD' 'LAD' 'ORO' 'PTO';
11 set MateriaPrima := 'CEM' 'MAD' 'LAD' 'ORO';
12 set ProductosManufacturados := 'TEL' 'CER' 'PAP';
13
14 set ModoDeCarta := 'NOR' 'MAR';
15
16 set NivelesDeDesarrollo := 1 2 3;
17
18 param EspecialidadesEraI : CEM TEL CER PAP MAD LAD ORO PTO:=
19      1  0  0  0  0  0  1  0  0
20      2  1  0  0  0  0  0  0  0
21      3  0  0  0  0  0  0  1  0
22      4  0  0  0  0  1  0  0  0
23      5  0  0  0  0  0  0  1  0
24      6  0  0  0  0  0  1  0  0
25      7  1  0  0  0  0  0  0  0
26      8  0  0  0  0  1  0  0  0
27      9  0  0  1  0  0  0  0  0
28     10  0  0  0  1  0  0  0  0
29     11  0  1  0  0  0  0  0  0
30     12  0  0  0  0  0  0  0  2
31     13  0  0  0  0  0  0  0  3
32     14  0  0  0  0  0  0  0  3
33     15  0  0  0  0  0  0  0  2
34     16  0  0  0  0  0  0  0  0
35     17  0  0  0  0  0  0  0  0
36     18  0  0  0  0  0  0  0  0
37     19  0  0  0  0  0  0  0  0
38     20  0  0  0  0  0  0  0  0

```

```

39         21  0  0  0  0  0  0  0  0
40         22  0  0  0  0  0  0  0  0
41         23  0  0  0  0  0  0  0  0
42         24  0  0  0  0  0  0  0  0;
43
44 param EspecialidadesEraII : CEM TEL CER PAP MAD LAD ORO PTO :=
45     1  2  0  0  0  0  0  0  0
46     2  0  0  0  0  0  2  0  0
47     3  0  0  0  0  2  0  0  0
48     4  0  0  0  0  0  0  2  0
49     5  0  0  0  1  0  0  0  0
50     6  0  0  1  0  0  0  0  0
51     7  0  1  0  0  0  0  0  0
52     8  0  0  0  0  0  0  0  5
53     9  0  0  0  0  0  0  0  3
54    10  0  0  0  0  0  0  0  4
55    11  0  0  0  0  0  0  0  4
56    12  0  0  0  0  0  0  0  0
57    13  0  0  0  0  0  0  0  0
58    14  0  0  0  0  0  0  0  0
59    15  0  0  0  0  0  0  0  0
60    16  0  0  0  0  0  0  0  0
61    17  0  0  0  0  0  0  0  0
62    18  0  0  0  0  0  0  0  0
63    19  0  0  0  0  0  0  0  0
64    20  0  0  0  0  0  0  0  0
65    21  0  0  0  0  0  0  0  0;
66
67 param EspecialidadesEraIII : CEM TEL CER PAP MAD LAD ORO PTO :=
68     1  0  0  0  0  0  0  0  8
69     2  0  0  0  0  0  0  0  6
70     3  0  0  0  0  0  0  0  6
71     4  0  0  0  0  0  0  0  7
72     5  0  0  0  0  0  0  0  5
73     6  0  0  0  0  0  0  0  0
74     7  0  0  0  0  0  0  0  0
75     8  0  0  0  0  0  0  0  0
76     9  0  0  0  0  0  0  0  0
77    10  0  0  0  0  0  0  0  0
78    11  0  0  0  0  0  0  0  0
79    12  0  0  0  0  0  0  0  0
80    13  0  0  0  0  0  0  0  0
81    14  0  0  0  0  0  0  0  0
82    15  0  0  0  0  0  0  0  0
83    16  0  0  0  0  0  0  0  0
84    17  0  0  0  0  0  0  0  0;
85
86 param CostosEraI : MON CEM TEL CER PAP MAD LAD ORO :=
87     1  0  0  0  0  0  0  0
88     2  0  0  0  0  0  0  0
89     3  1  0  0  0  0  0  0
90     4  1  0  0  0  0  0  0
91     5  0  0  0  0  0  0  0
92     6  1  0  0  0  0  0  0
93     7  1  0  0  0  0  0  0
94     8  0  0  0  0  0  0  0
95     9  0  0  0  0  0  0  0
96    10  0  0  0  0  0  0  0
97    11  0  0  0  0  0  0  0
98    12  0  0  0  0  0  0  0
99    13  0  1  0  0  0  0  0
100    14  0  0  0  0  0  0  0
101    15  0  0  0  0  0  0  0
102    16  0  0  1  0  0  0  0
103    17  0  0  0  1  0  0  0
104    18  0  0  0  0  1  0  0
105    19  0  0  0  0  0  0  0

```

```

106         20  0  0  0  0  0  0  0  0
107         21  0  0  0  0  0  0  0  0
108         22  0  0  0  0  0  0  0  0
109         23  0  0  0  0  0  0  0  0
110         24  0  0  0  0  0  0  0  0;
111
112 param CostosEraII: MON CEM TEL CER PAP MAD LAD ORO :=
113         1  1  0  0  0  0  0  0  0
114         2  1  0  0  0  0  0  0  0
115         3  1  0  0  0  0  0  0  0
116         4  1  0  0  0  0  0  0  0
117         5  0  0  0  0  0  0  0  0
118         6  0  0  0  0  0  0  0  0
119         7  0  0  0  0  0  0  0  0
120         8  0  3  0  0  0  0  0  0
121         9  0  0  0  1  0  1  1  0
122        10  0  0  0  0  0  1  0  2
123        11  0  0  1  0  0  0  2  0
124        12  0  1  0  0  0  0  0  2
125        13  0  1  0  0  1  1  0  0
126        14  0  0  0  0  1  0  2  0
127        15  0  2  1  0  0  0  0  0
128        16  0  0  0  0  0  0  0  0
129        17  0  0  0  0  0  0  0  0
130        18  0  0  0  0  0  0  0  0
131        19  0  0  0  0  0  0  0  0
132        20  0  0  0  0  0  0  0  0
133        21  0  0  0  0  0  0  0  0;
134
135 param CostosEraIII: MON CEM TEL CER PAP MAD LAD ORO :=
136         1  0  1  1  1  1  1  1  1
137         2  0  2  0  1  0  0  0  1
138         3  0  1  0  0  0  2  0  1
139         4  0  0  1  1  1  0  2  1
140         5  0  0  0  0  0  1  2  0
141         6  0  0  0  1  1  2  0  0
142         7  0  0  1  1  0  0  0  2
143         8  0  0  1  0  1  1  0  0
144         9  0  3  0  1  0  0  0  0
145        10  0  0  0  1  1  0  2  0
146        11  0  0  0  1  1  2  0  0
147        12  0  0  0  0  0  0  0  0
148        13  0  0  0  0  0  0  0  0
149        14  0  0  0  0  0  0  0  0
150        15  0  0  0  0  0  0  0  0
151        16  0  0  0  0  0  0  0  0
152        17  0  0  0  0  0  0  0  0;
153
154 param CostosMaravilla: CEM MAD LAD ORO :=
155         1  2  0  0  0
156         2  0  3  0  0
157         3  4  0  0  0;
158
159 end;
160

```

1.6. Resolución

Listing 3: Selección de filas mas importantes del archivo solución

No.	Row name	Activity	Lower bound	Upper bound
1	-----	-----	-----	-----
2				
3	1 z	97		
4	4220 trioDeSimbolos	4		4
5	52 Ype[9,4,NOR]	1	0	1
6	56 Ype[10,2,NOR]	1	0	1

7	75	Ype[13,3,NOR]	1	0	1
8	91	Ype[16,1,NOR]	1	0	1
9	102	Ype[17,6,NOR]	1	0	1
10	107	Ype[18,5,NOR]	1	0	1
11	335	Yse[8,5,NOR]	1	0	1
12	354	Yse[11,6,NOR]	1	0	1
13	355	Yse[12,1,NOR]	1	0	1
14	364	Yse[13,4,NOR]	1	0	1
15	369	Yse[14,3,NOR]	1	0	1
16	374	Yse[15,2,NOR]	1	0	1
17	574	Yte[6,4,NOR]	1	0	1
18	579	Yte[7,3,NOR]	1	0	1
19	584	Yte[8,2,NOR]	1	0	1
20	593	Yte[9,5,NOR]	1	0	1
21	600	Yte[10,6,NOR]	1	0	1
22	601	Yte[11,1,NOR]	1	0	1
23	745	monedasDisponibles[1,1]			
24		*	3	0	
25	746	monedasDisponibles[1,2]			
26		*	1	0	
27	747	monedasDisponibles[1,3]			
28		*	1	0	
29	748	monedasDisponibles[1,4]			
30		*	1	0	
31	749	monedasDisponibles[1,5]			
32		*	1	0	
33	750	monedasDisponibles[1,6]			
34		*	1	0	
35	751	monedasDisponibles[2,1]			
36		*	1	0	
37	752	monedasDisponibles[2,2]			
38		*	1	0	
39	753	monedasDisponibles[2,3]			
40		*	1	0	
41	754	monedasDisponibles[2,4]			
42		*	1	0	
43	755	monedasDisponibles[2,5]			
44		*	0	0	
45	763	gastoMonedas[1,1]			
46		*	2	0	
47	772	gastoMonedas[2,4]			
48		*	1	0	
49					
50	908	recursosComprados[1,1,TEL]			
51		*	1	0	
52	975	recursosComprados[2,4,MAD]			
53		*	1	0	
54					
55	1035	Geometricas *	4	0	
56	1039	Yg4 *	1	0	1
57					
58	1040	Ruedas *	4	0	
59	1044	Yr4 *	1	0	1
60					
61	1045	Escrituras *	5	0	
62	1050	Ye5 *	1	0	1
63					
64	1052	desarrollo *	0	0	

1.7. Análisis de la solución

Los resultados arrojados indican que la mejor partida se logra con 97 puntos. En ella las cartas jugadas son

- ERA I

1. Apothecary: para ello hago la compra de 1 tela por 2 monedas. Da como resultado 1 geometría.
2. Press: se realiza de manera gratuita, y construye un papiro por turno.
3. Baths: para construirlo necesito de un cemento, el cuál provee 'La Pirámide de Giza'. Da como resultado 3 puntos.
4. Classworks: es gratuito y construye una cerámica por turno.
5. Scriptorium: para poder contruir dicho edificio utilizo un papiro producido por la manufactura 'Press' jugada en el turno 2. Dando como resultado 1 escritura
6. Workshop: para ello utilizo la cerámica proveniente del producto manufacturado 'Classworks' jugada en el turno 4. Da como resultado 1 Rueda.

■ ERA II

1. Dispensary: se construye de manera gratuita gracias al haber construido el edificio científico 'Apothecary' en el turno 1 de la Era 1. Da como resultado 1 geometría.
2. Library: se construye de manera gratuita debido a la construcción de 'Scriptorium' en el turno 5 de la Era 1. Da como resultado una escritura.
3. Laboratory: se lo construye de manera gratuita por haber construido el edificio 'Workshop' en el último turno de la Era anterior. Da como resultado 1 rueda.
4. School: para poder construir este edificio científico se utiliza el papiro producido por la manufactura 'Press' jugada en el turno 2 de la Era 1, y se realiza la compra de una madera por 1 moneda. Da como resultado 1 escritura.
5. Aqueduct: se lo construye gratis debido al tener la estructura 'Baths', realizada en el turno 3 de la Era 1. Da como resultado 5 puntos.
6. Courthouse: su construcción no tiene ningún costo debido al poseer de la estructura 'Scriptorium'. Da como resultado 4 puntos.

■ ERA III

1. University: su construcción no tiene ningún costo debido al contar con la estructura 'Library' (turno 2, Era 2). Da como resultado 1 escritura.
2. Study: se realiza de manera gratuita al contar con la estructura 'School' desde el turno 4 de la era anterior. Da como resultado 1 rueda.
3. Observatory: es gratuita ya que se construyó en el turno 3 de la era 2, el edificio 'Laboratory'. Da como resultado 1 rueda.
4. University: misma situación que la carta del turno 1 de la presente Era.
5. Academy: la construcción de dicho edificio es gratuita al haber construido anteriormente el edificio 'School'. Da como resultado 1 geometría.
6. Lodge: es gratuito al tener el edificio 'Dispensary' construido en el primer turno de la Era 2. Da como resultado 1 geometría.

Finalizando la partida, se cuenta con 4 símbolos de geometría, 4 ruedas y 5 escrituras. Los que contando todas las combinaciones posibles, generan un puntaje de 85 puntos. Esto sumado a los puntos producidos por las cartas 'Baths'(3 ptos.), 'Aqueduct'(5 ptos.) y 'Courthouse'(4 ptos.), producen un total de 97 puntos. Se puede observar que la solución ganadora no es precisamente la más compleja, de hecho, no cuenta con la construcción de maravillas, ni compras de productos. Se basa directamente en tratar de construir todos los Edificios Científicos disponibles, ya que a través de sus símbolos, puede observar la mayor cantidad de puntos teniendo en cuenta todas las combinaciones (cantidad de símbolos iguales y tríos de símbolos distintos). Para ello, anteriormente, busca la posibilidad de construir aquellos edificios (ya sean científicos o civiles) que permiten la construcción gratuita de otros posteriormente.

2. Parte B

2.1. Análisis

Se tiene un problema de 'producción' debido a que se debe determinar la cantidad de ubicaciones de cada tipo a construir¹. En cuanto a las restricciones, se debe tener en cuenta los compromisos con otras empresas o con el departamento de marketing. Esto hace referencia a las entradas tanto de protocolo (VIP) como generales.

2.2. Objetivo

Determinar la cantidad de ubicaciones VIP y Generales que debe tener el estadio para maximizar las ganancias el día del mundial del juego "7 Wonders".

2.3. Hipótesis

- El mundial se realiza únicamente en un día.
- El estadio se construye correctamente cumpliendo con todas las ubicaciones requeridas y normas de seguridad vigentes. A su vez, no es necesario realizar ninguna remodelación.
- Se agotan las entradas para ver el mundial. Es decir, que todas las ubicaciones son ocupadas por los espectadores.
- Ninguno de los productos del merchandising posee defectos y son indistinguibles entre sí. Todos están aptos para poder ser entregados a los diferentes espectadores.
- La capacidad del predio, (8000 m²), hace referencia al espacio disponible para poder colocar las ubicaciones. Es decir, que el espacio que ocupan los diferentes accesos a las ubicaciones (pasillos) ya fueron contemplados.
- No hay ningún impedimento para que se pueda realizar dicho mundial. Esto incluye factores climáticos, paro de transporte, feriados, paros gremiales, entre otros.
- No se contemplan otros gastos:
 - Materiales para la construcción del estadio.
 - Mano de obra para dicha construcción.
 - Contratación de organismos de seguridad para el día en el que se desarrolla el mundial.
 - Impresión de las entradas.
 - De publicidad para dar a conocer dicho evento.
 - Limpieza del estadio.
 - Servicios básicos (luz y agua).
- La empresa encargada del merchandising ofrece dos paquetes distintos al mismo precio. Uno cubre a 20 personas VIP y el otro a 8 ubicaciones generales. Es decir, no se puede comprar mezclados (por ejemplo, 4 generales y 10 VIP).
- Todos los espectadores deben tener su propio merchandising.
- Puede sobrar merchandising, ya sea VIP o General.
- Se trabaja a moneda constante, o la inflación influye de manera proporcional a todos los precios presentes en el problema. Y dicha moneda se encuentra en pesos argentinos.
- No existen otras restricciones que las planteadas en el modelo.

¹Lo que equivaldría a la producción de productos.

2.4. Modelo de programación lineal continua

2.4.1. Variables

Variable	Descripción	Unidad
V	Cantidad reservada para ubicaciones VIP	m^2
Vc	Cantidad reservada para ubicaciones VIP comunes	m^2
Vp	Cantidad reservada para ubicaciones VIP de protocolo	m^2
G	Cantidad reservada para ubicaciones generales	m^2
Evc	Cantidad de entradas VIP comun	entradas
Evp	Cantidad de entradas VIP de protocolo	entradas
Eg	Cantidad de entradas generales	entradas
P	Cantidad total de paquetes	paquetes
Pv	Cantidad destinada a ubicaciones VIP	paquetes
Pg	Cantidad destinada a ubicaciones Generales	paquetes

2.4.2. Formulación matemática

Funcional

$$Z_{max} = 1500 * Evc + 800 * Eg - 700 * P \quad (2)$$

Demanda

$$Vp \geq 100 \quad (3)$$

$$G \geq 500 \quad (4)$$

$$P \leq 800 \quad (5)$$

$$(6)$$

Ubicaciones

$$Vp = Evp \quad (7)$$

$$Vc = Evc \quad (8)$$

$$2 * G = Eg \quad (9)$$

Paquetes

$$P = Pv + Pg \quad (10)$$

$$20 * Pv \geq V \quad (11)$$

$$8 * Pg \geq Eg \quad (12)$$

2.5. Modelo en computadora (GLPK)

Listing 4: Modelo parte B

```

1 # V: Cantidad de ubicaciones VIP en m^2
2 # Vc: Cantidad de ubicaciones VIP comunes en m^2
3 # Vp: Cantidad de ubicaciones VIP de protocolo en m^2
4 # G: Cantidad de ubicaciones generales en m^2
5 # Evc: Cantidad de entradas VIP comun en unidad.
6 # Evp: Cantidad de entradas VIP de protocolo en unidad.
7 # Eg: Cantidad de entradas generales en unidad.
8 # P: Cantidad total de paquetes en unidad.
9 # Pv: Cantidad de paquetes destinados a ubicaciones VIP.
10 # Pg: Cantidad de paquetes destinados a ubicaciones Generales.
11
```

```

12 var V >= 0, integer;
13 var Vc >= 0, integer;
14 var Vp >= 0, integer;
15 var G >= 0, integer;
16 var Evc >= 0, integer;
17 var Evp >= 0, integer;
18 var Eg >= 0, integer;
19 var P >= 0, integer;
20 var Pv >= 0, integer;
21 var Pg >= 0, integer;
22
23 maximize z: 1500 * Evc + 800 * Eg - 700 * P;
24
25 s.t. predio: V + G <= 8000; #Capacidad m^2
26 s.t. ubicacionesVip: V = Vc + Vp;
27 s.t. minProtocolo: Vp >= 100;
28 s.t. minGenerales: G >= 500;
29 s.t. maxPaquetes: P <= 800;
30 s.t. paquetesTotales: P = Pv + Pg;
31 s.t. paqueteVip: 20*Pv >= V;
32 s.t. paqueteGeneral: 8*Pg >= Eg;
33 s.t. ubicEntrVipProto: Vp = Evp;
34 s.t. ubicEntrVipComun: Vc = Evc;
35 s.t. ubicGeneral: 2*G = Eg;
36
37 end;

```

2.6. Resolución

A continuación se muestran los resultados obtenidos luego de la corrida del modelo en GLPK.

Listing 5: Solucion parte B

```

1 Problem:    ParteB
2 Rows:      12
3 Columns:   10 (10 integer, 0 binary)
4 Non-zeros: 24
5 Status:    INTEGER OPTIMAL
6 Objective: z = 11550000 (MAXimum)
7
8   No.   Row name      Activity   Lower bound   Upper bound
9   -----
10  1 z              1.155e+07
11  2 predio          8000
12  3 ubicacionesVip
13              0          -0          =
14  4 minProtocolo    100          100
15  5 minGenerales    500          500
16  6 maxPaquetes     500
17              500          800
18  7 paquetesTotales
19              0          -0          =
20  8 paqueteVip      0          -0
21  9 paqueteGeneral
22              0          -0
23  10 ubicEntrVipProto
24              0          -0          =
25  11 ubicEntrVipComun
26              0          -0          =
27  12 ubicGeneral    0          -0          =
28
29   No.   Column name   Activity   Lower bound   Upper bound
30   -----
31  1 V          *          7500          0
32  2 Vc         *          7400          0
33  3 Vp         *          100          0
34  4 G          *          500          0

```

```
34      5 Evc      *      7400      0
35      6 Evp      *      100      0
36      7 Eg       *     1000      0
37      8 P        *      500      0
38      9 Pv       *      375      0
39     10 Pg       *      125      0
40
41 Integer feasibility conditions:
42
43 KKT.PE: max.abs.err = 0.00e+00 on row 0
44         max.rel.err = 0.00e+00 on row 0
45         High quality
46
47 KKT.PB: max.abs.err = 0.00e+00 on row 0
48         max.rel.err = 0.00e+00 on row 0
49         High quality
50
51 End of output
```

2.7. Análisis de la solución

Analizando los resultados obtenidos podemos observar que se la máxima recaudación es de \$11.550.000. Para ello se debe disponer de 7500 entradas 'VIP', con 100 de ellas de protocolo, y 1000 entradas 'Generales'. Utilizando así, todo el espacio disponible del predio. Por otra parte se deben comprar un total de 500 paquetes para el merchandising. En los que 375 deben ser 'paquetes VIP' y 125 'paquetes Generales'.