

Fundamentos de análisis y diseño de algoritmos

Programación dinámica

El problema de la mochila 0/1

Programación dinámica

Se tienen N objetos y una mochila de capacidad (de peso) M , cada objeto tiene un peso w_i , $1 \leq i \leq N$. Cada objeto puede estar, o no, en la mochila. Además, se tiene un beneficio b_i por cada objeto

El problema consiste en maximizar el beneficio. La solución se representa indicando para cada objeto si se debe colocar o no en la mochila

Programación dinámica

Se tienen N objetos y una mochila de capacidad (de peso) M , cada objeto tiene un peso w_i , $1 \leq i \leq N$. Cada objeto puede estar, o no, en la mochila. Además, se tiene un beneficio b_i por cada objeto

De manera formal, el problema consiste en encontrar $\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ tal que:

$$\sum_{1 \leq i \leq N} b_i x_i \text{ sea máximo, sujeto a}$$

$$\sum_{1 \leq i \leq N} w_i x_i \leq M$$

$x_i \in \{0,1\}$, donde 0 significa que el objeto i no se coloca en la mochila y 1 que si

Programación dinámica

Se tienen N objetos y una mochila de capacidad (de peso) M , cada objeto tiene un peso w_i , $1 \leq i \leq N$. Cada objeto puede estar, o no, en la mochila. Además, se tiene un beneficio b_i por cada objeto

De manera formal, el problema consiste en encontrar $\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ tal que:

$$\sum_{1 \leq i \leq N} b_i x_i \text{ sea máximo, sujeto a}$$

Problema mochila(1, N , M)

$$\sum_{1 \leq i \leq N} w_i x_i \leq M$$

$x_i \in \{0,1\}$, donde 0 significa que el objeto i no se coloca en la mochila y 1 que si

Programación dinámica

$N=3, M=9, b=\langle 10,6,8 \rangle, w=\langle 3,4,5 \rangle$

$\langle 1,0,1 \rangle$ es una solución que indica colocar en la mochila los objetos 1 y 3, esto implica un beneficio de 18

$\langle 1,1,0 \rangle$ es una solución que indica colocar en la mochila los objetos 1 y 2, esto implica un beneficio de 16

$\langle 0,1,1 \rangle$ es una solución que indica colocar en la mochila los objetos 2 y 3, esto implica un beneficio de 14

$\langle 1,0,0 \rangle, \langle 0,1,0 \rangle, \langle 0,0,1 \rangle$

Debido a los pesos no se pueden colocar todos los objetos en la mochila

Programación dinámica

$N=3, M=9, b=\langle 10,6,8 \rangle, w=\langle \underline{7},4,5 \rangle$

Muestre soluciones indicando el beneficio

Programación dinámica

$N=3, M=9, b=\langle 10,6,8 \rangle, w=\langle \underline{7},4,5 \rangle$

$\langle 1,0,0 \rangle$: beneficio 10

$\langle 0,1,0 \rangle$: beneficio 6

$\langle 0,0,1 \rangle$: beneficio 8

$\langle 0,1,1 \rangle$: beneficio 14

Solución óptima: $\langle 0,1,1 \rangle$

Programación dinámica

$N=4$, $M=20$, $b=\langle 3,2,1,4 \rangle$, $w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Muestre todas las soluciones indicando el beneficio.

Presente la solución óptima

Programación dinámica

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

$\langle 1,1,1,0 \rangle \quad W=18, B=6$

$\langle 0,1,1,1 \rangle \quad W=19, B=7$

$\langle 1,0,1,1 \rangle \quad W=21 \quad X$

$\langle 1,1,0,1 \rangle \quad W=20, B=9$

Programación dinámica

$N=4$, $M=20$, $b=\langle \underline{3}, 2, 1, \underline{4} \rangle$, $w=\langle 7, 5, 6, \underline{8} \rangle$

Considere la solución óptima $\langle 1, 1, 0, 1 \rangle$

Encuentre subproblemas y soluciones óptimas a esos subproblemas (utilice la notación mochila(L, N, M) para indicar el problema de la mochila utilizando de L a N elementos y una capacidad M)

Mochila(1, 4, 20)

Mochila(1, 3, 12)

Mochila(1, 3, 20)

Programación dinámica

Problema: encontrar $\langle x_k, x_{k+1}, \dots, x_l \rangle$ tal que:

$\sum_{k \leq i \leq l} b_i x_i$ sea máximo, sujeto a

$$\sum_{k \leq i \leq l} w_i x_i \leq P$$

Problema mochila(k, l, P)

Programación dinámica

$N=4$, $M=20$, $b=\langle 3,2,1,4 \rangle$, $w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Si $\langle 1,1,0,1 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,4,20) ...

Programación dinámica

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Si $\langle 1,1,0,1 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,4,20)

entonces $\langle 1,1,0 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,3,20-8)

mochila(1,3,12) es el problema de
colocar ~~los~~ elementos 1, 2 y 3 en la
mochila de capacidad 12

Programación dinámica

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Si $\langle 1,1,0,1 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,4,20)

entonces $\langle 1,1,0 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,3,20-8)

Si $\langle 1,1,0 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,3,12)

entonces $\langle 1,1 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,2,12)

Un 0 en la solución óptima significa que el elemento no se coloca en la mochila. Note que no se disminuye la capacidad de la mochila

Programación dinámica

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Si $\langle 1,1,0,1 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,4,20)

entonces $\langle 1,1,0 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,3,20-8)

Si $\langle 1,1,0 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,3,12)

entonces $\langle 1,1 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,2,12)

Si $\langle 1,1 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,2,12)

entonces $\langle 1 \rangle$ es una solución óptima de mochila(1,1,12-5)

Programación dinámica

En términos generales se tiene que, sea $\langle y_1, y_2, \dots, y_N \rangle$ una secuencia óptima para $\langle x_1, x_2, \dots, x_N \rangle$, dada una mochila de capacidad M , entonces:

- Si $y_N=0$ entonces $\langle y_1, \dots, y_{N-1} \rangle$ es una secuencia óptima para mochila(1, N-1, M)
- Si $y_N=1$ entonces $\langle y_1, \dots, y_{N-1} \rangle$ es una secuencia óptima para mochila(1, N-1, M-w_N)

Programación dinámica

Si $\langle y_1, y_2, \dots, y_N \rangle$ una secuencia óptima para mochila(1,N,M) entonces $\langle y_1, y_2, \dots, y_i \rangle$ y $\langle y_{i+1}, y_{i+2}, \dots, y_N \rangle$ son soluciones optimas a los problemas:

$$\underbrace{mochila(1, j, \sum_{1 \leq i \leq j} w_i x_i)} \quad \vee \quad mochila(j+1, N, M - \sum_{1 \leq i \leq j} w_i x_i)$$

Programación dinámica

Sea $g_j(M)$ el valor de la solución óptima de mochila(1,j,M), por la subestructura óptima, se puede decir que:

No incluir el elemento j

$$g_j(M) = \max(\check{g_{j-1}(M)}, \underline{g_{j-1}(M-w_j) + b_j}) \leftarrow \text{Si se incluye}$$
$$g_0(M) = 0$$

esto es, seleccionar el máximo entre los beneficios de 1) no colocar el elemento j en la mochila y 2) colocar j en la mochila, se debe entonces colocar el beneficio b_j y disminuir el peso máximo de la mochila, que ahora será $M-w_j$

Programación dinámica

El valor de $g_N(M)$ se expresa en términos de $g_{N-1}(M)$ y $g_{N-1}(M-w_N)$

El valor de $g_{N-1}(M)$ se expresa en términos de $g_{N-2}(M)$, $g_{N-2}(M-w_{N-2})$ y $g_{N-2}(M-w_{N-2}-w_{N-1})$

hasta llegar a $g_0(M)$ que vale 0

Programación dinámica

$N=4, M=20, b=\langle 3, 2, 1, \underline{4} \rangle, w=\langle 7, 5, 6, \underline{8} \rangle$

mochila(1,4,20) tiene valor $g_4(20)$, donde:

$$g_4(20) = \max(\underline{g_3(20)}, \underline{g_3(12)} + \underline{4})$$

✓
2 subproblems

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(g_3(20), g_3(12) + 4)$$

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(\underline{g_3(20)}, \underline{g_3(12)+4})$$

$$g_3(20) = \max(\underline{g_2(20)}, \underline{g_2(14)+1})$$

$$g_3(12) = \max(\underline{g_2(12)}, \underline{g_2(6)+1})$$

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M-w_j)+b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(g_3(20), g_3(12) + 4)$$

$$g_3(20) = \max(g_2(20), g_2(14) + 1)$$

$$g_3(12) = \max(g_2(12), g_2(6) + 1)$$

$$g_2(20) = \max(g_1(20), g_1(15) + 2)$$

$$g_2(14) = \max(g_1(14), g_1(9) + 2)$$

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(g_3(20), g_3(12) + 4)$$

$$g_3(20) = \max(g_2(20), g_2(14) + 1)$$

$$g_3(12) = \max(g_2(12), g_2(6) + 1)$$

$$g_2(20) = \max(g_1(20), g_1(15) + 2)$$

$$g_2(14) = \max(g_1(14), g_1(9) + 2)$$

$$g_1(20) = \max(g_0(20), g_0(13) + 3)$$

$$g_1(15) = \max(g_0(15), g_0(8) + 3)$$

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(g_3(20), g_3(12) + 4)$$

$$g_3(20) = \max(g_2(20), g_2(14) + 1)$$

$$g_3(12) = \max(g_2(12), g_2(6) + 1)$$

$$g_2(20) = \max(g_1(20), g_1(15) + 2)$$

$$g_2(14) = \max(g_1(14), g_1(9) + 2)$$

$$g_1(20) = \max(g_0(20), g_0(13) + 3)$$

$$g_1(15) = \max(g_0(15), g_0(8) + 3)$$

$$g_1(20) = \max(0, 3)$$

$$g_1(15) = \max(0, 3)$$

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(g_3(20), g_3(12) + 4)$$

$$g_3(20) = \max(g_2(20), g_2(14) + 1)$$

$$g_3(12) = \max(g_2(12), g_2(6) + 1)$$

$$g_2(20) = \max(g_1(20), g_1(15) + 2) \\ = 5$$

$$g_2(14) = \max(g_1(14), g_1(9) + 2)$$

$$g_1(20) = \max(g_0(20), g_0(13) + 3) \\ g_1(20) = 3$$

$$g_1(15) = \max(g_0(15), g_0(8) + 3) \\ g_1(15) = \max(0, 3)$$

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(g_3(20), g_3(12) + 4)$$

$$g_3(20) = \max(g_2(20), g_2(14) + 1)$$

$$g_3(12) = \max(\underline{g_2(12)}, \underline{g_2(6)} + 1)$$

$$g_2(20) = \max(g_1(20), g_1(15) + 2) \\ = 5$$

$$g_2(14) = \max(g_1(14), g_1(9) + 2)$$

$$g_1(20) = \max(g_0(20), g_0(13) + 3) \\ g_1(20) = 3$$

$$g_1(15) = \max(g_0(15), g_0(8) + 3) \\ g_1(15) = \max(0, 3)$$

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(g_3(20), g_3(12) + 4)$$

$$g_3(20) = \max(g_2(20), g_2(14) + 1)$$

$$g_3(12) = \max(g_2(12), g_2(6) + 1)$$

$$g_2(20) = \max(g_1(20), g_1(15) + 2) \\ = 5$$

$$g_2(14) = \max(g_1(14), g_1(9) + 2)$$

$$g_1(14) = \max(g_0(14), g_0(7) + 3) \\ g_1(14) = 3$$

$$g_1(9) = \max(g_0(9), g_0(2) + 3) \\ g_1(9) = 3$$

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(g_3(20), g_3(12) + 4)$$

$$g_3(20) = \max(g_2(20), g_2(14) + 1)$$

$$g_3(12) = \max(g_2(12), g_2(6) + 1)$$

$$g_2(20) = \max(g_1(20), g_1(15) + 2) \\ = 5$$

$$g_2(14) = \max(g_1(14), g_1(9) + 2) \\ = \max(3, 5) = 5$$

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(g_3(20), g_3(12) + 4)$$

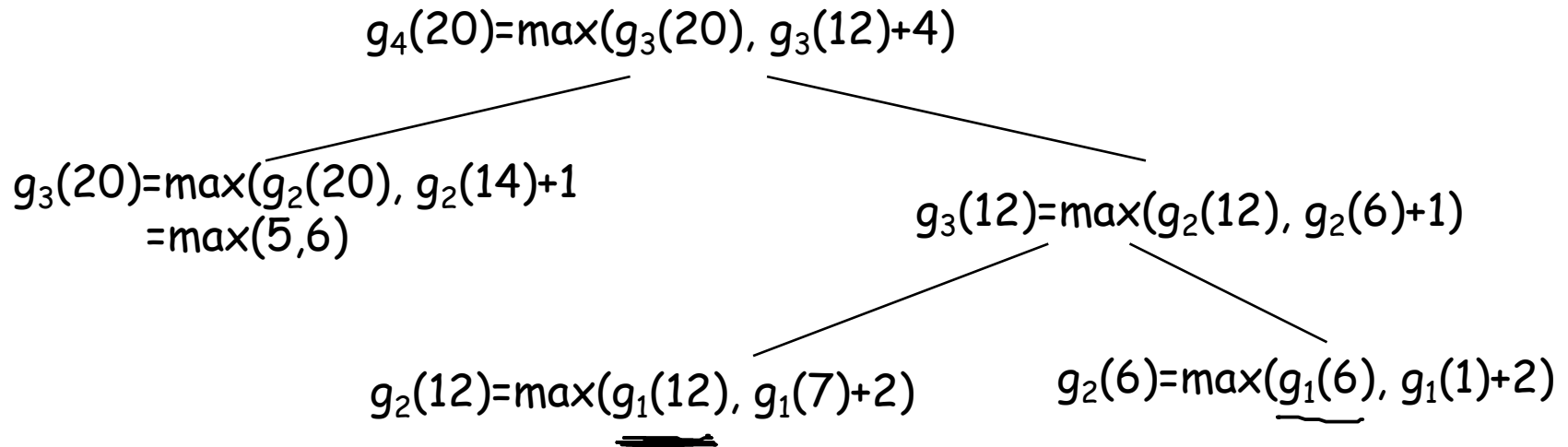
$$\begin{aligned} g_3(20) &= \max(g_2(20), g_2(14) + 1) \\ &= \max(5, 6) \end{aligned}$$

$$g_3(12) = \max(g_2(12), g_2(6) + 1)$$

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

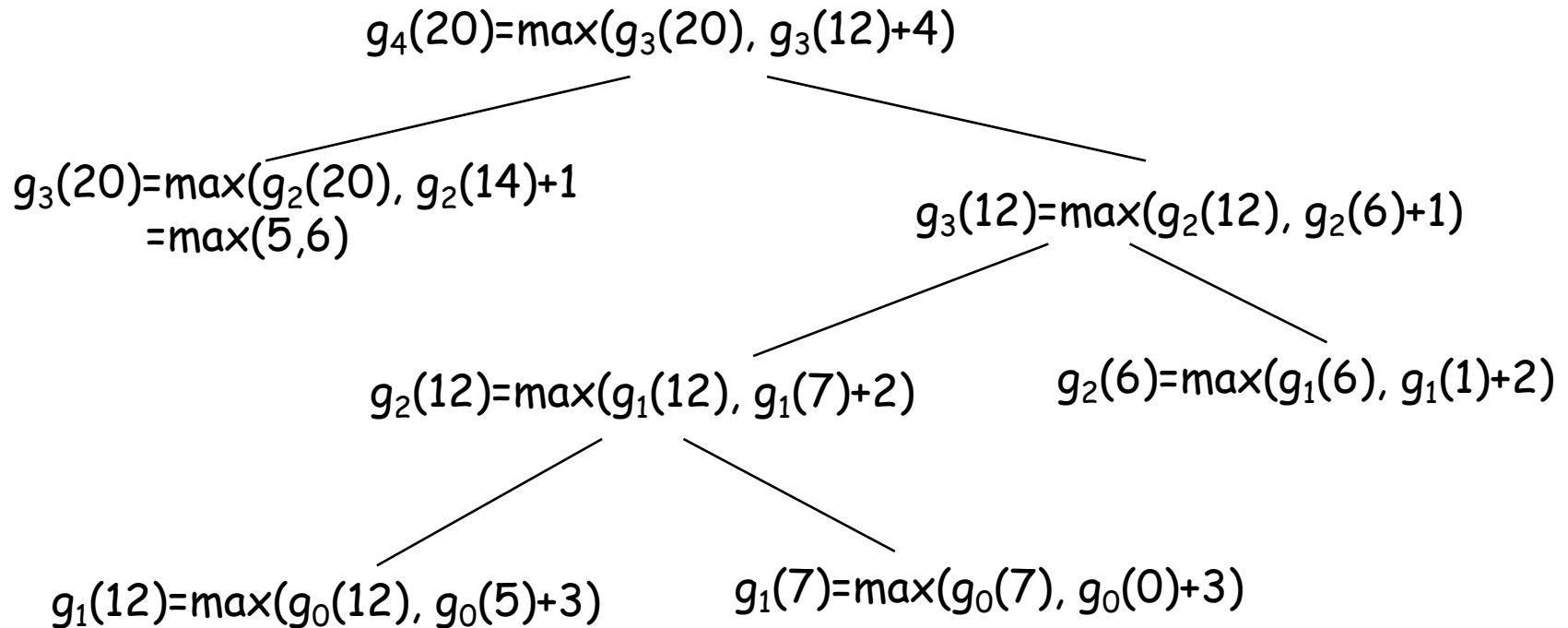
Programación dinámica



$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

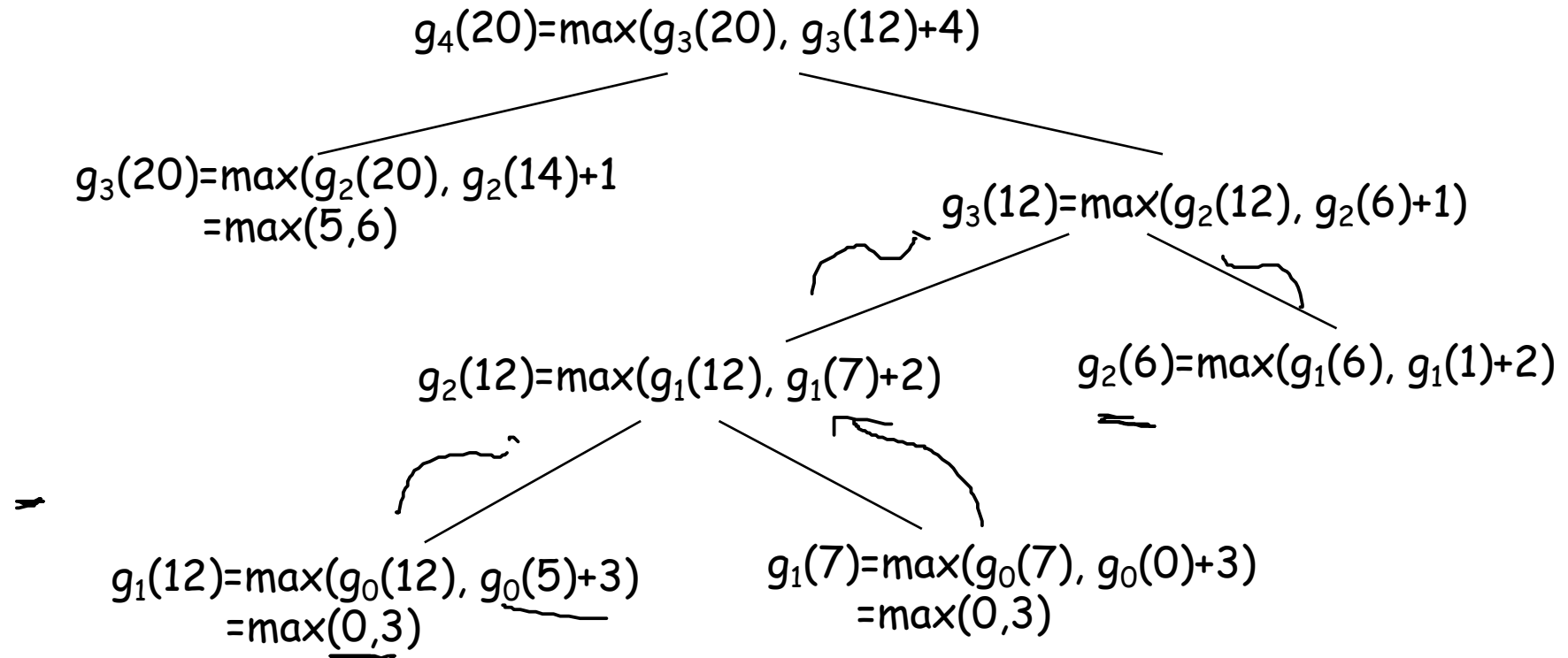
Programación dinámica



$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

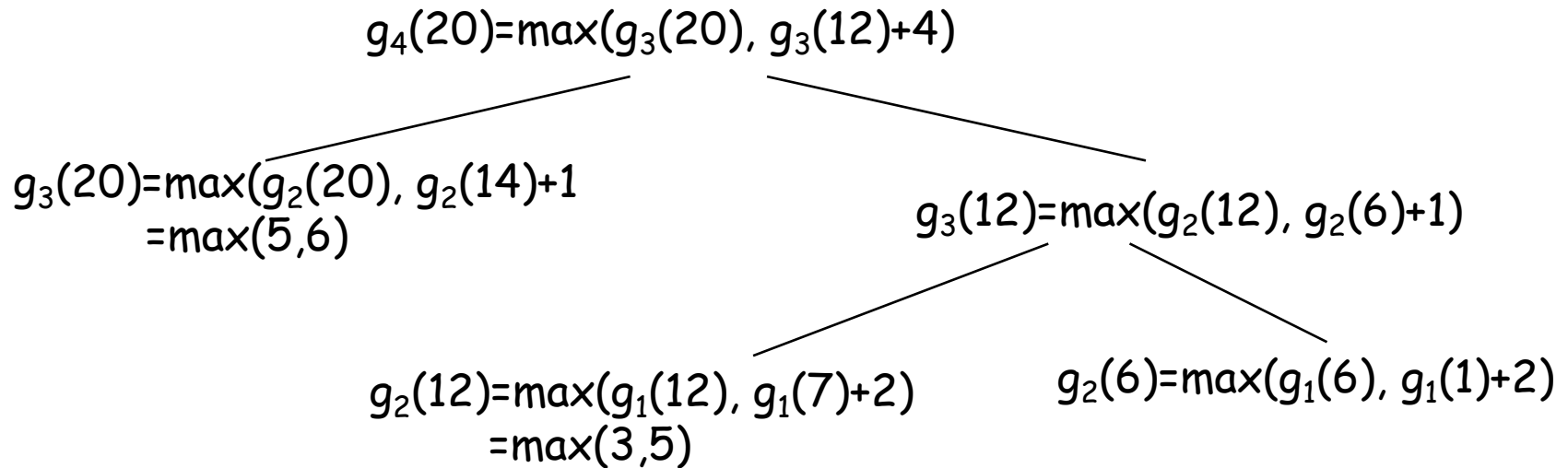
Programación dinámica



$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

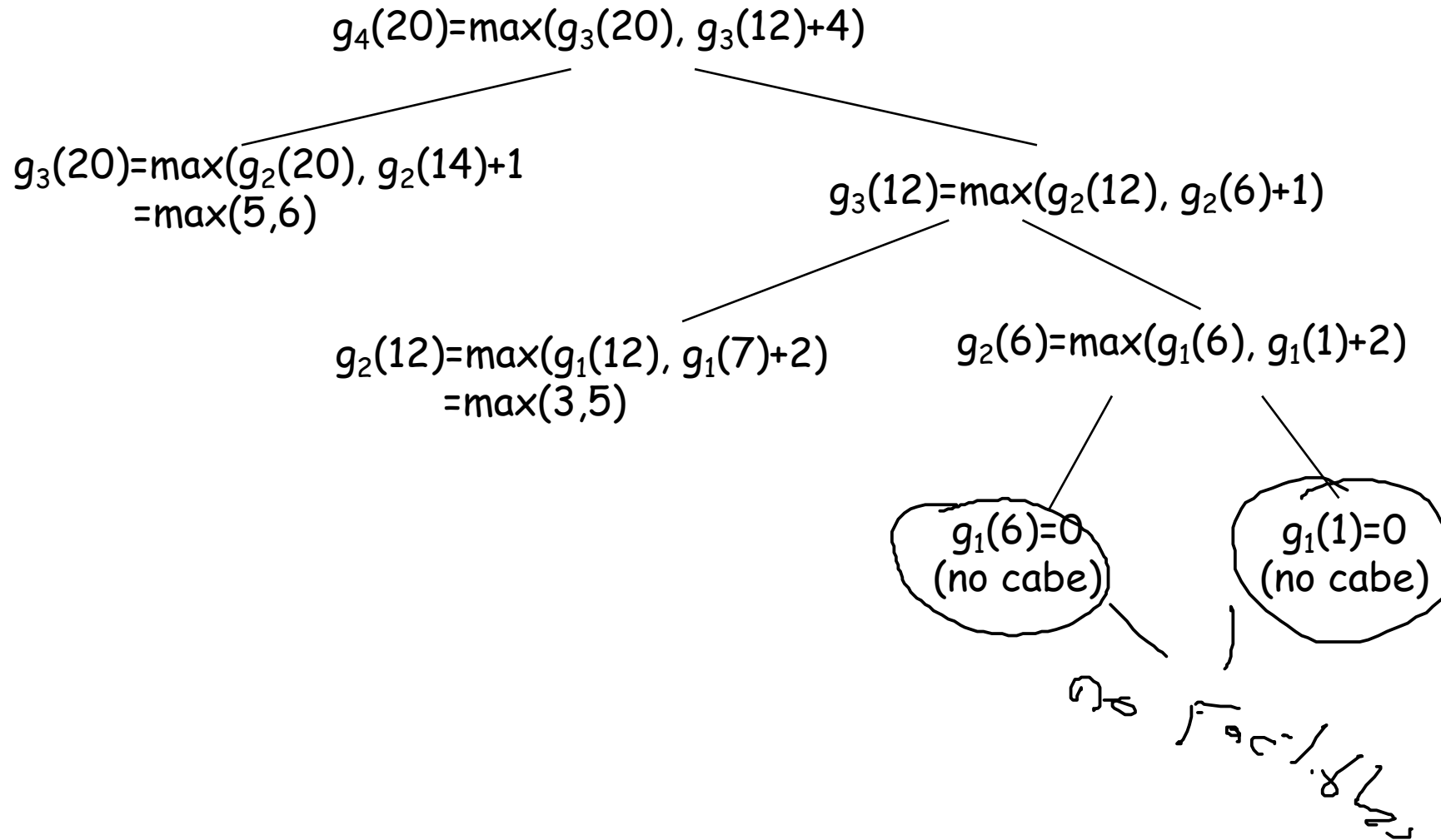
Programación dinámica



$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

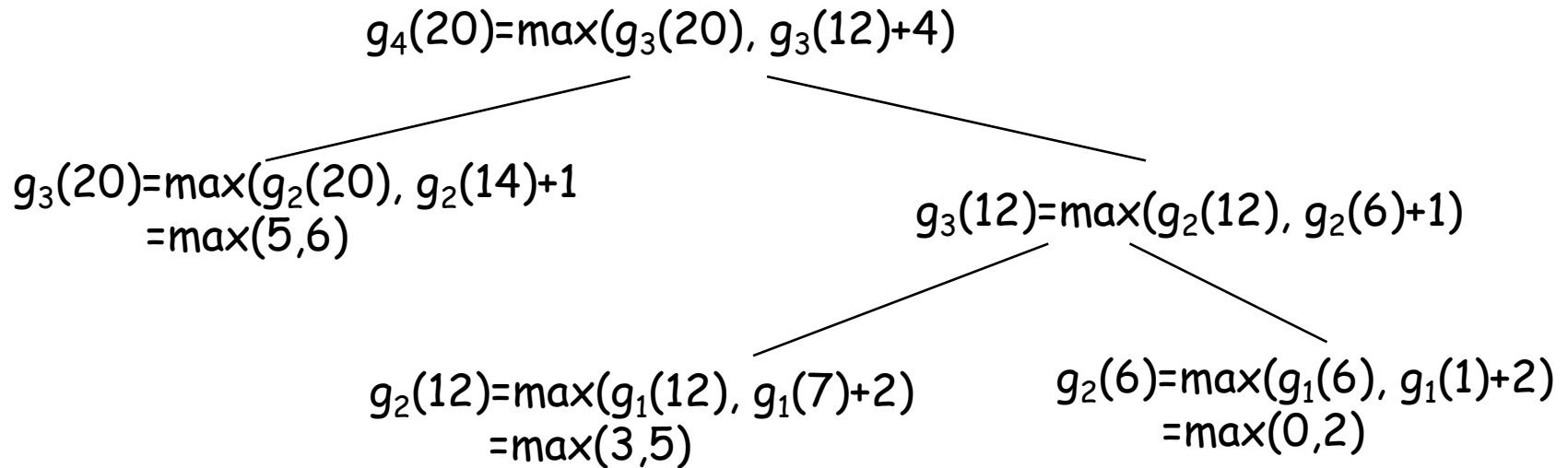
Programación dinámica



$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica



$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(g_3(20), g_3(12) + 4)$$

$$\begin{aligned} g_3(20) &= \max(g_2(20), g_2(14) + 1) \\ &= \max(5, 6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_3(12) &= \max(g_2(12), g_2(6) + 1) \\ &= \max(5, 3) \end{aligned}$$

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

Programación dinámica

$$g_4(20) = \max(g_3(20), g_3(12) + 4)$$

$$= \max(6, 9)$$

$$= 9$$

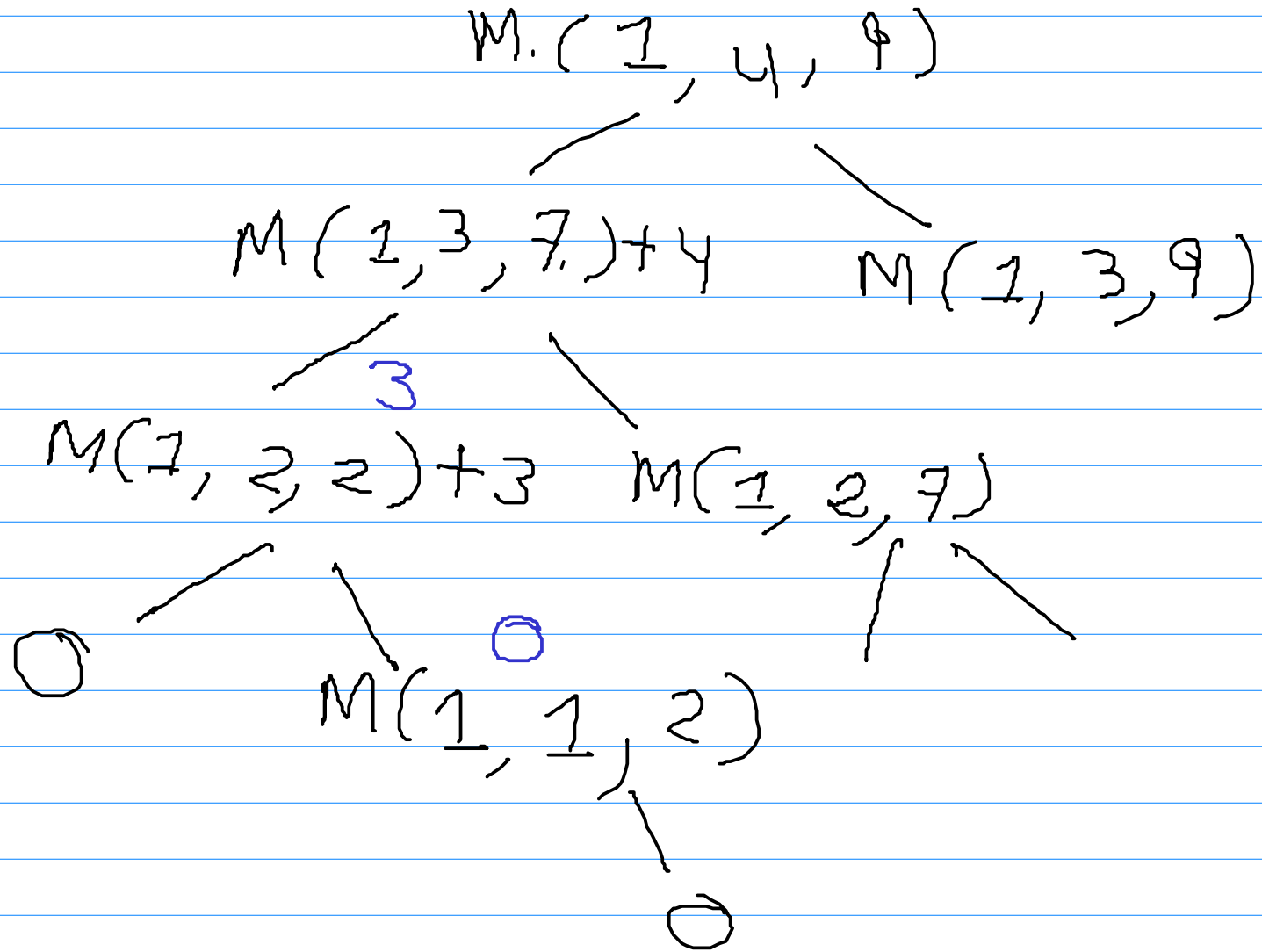
9 es el valor óptimo

$$g_j(M) = \max(g_{j-1}(M), g_{j-1}(M - w_j) + b_j)$$

$$b = \langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w = \langle 7, 5, 6, 8 \rangle$$

$$b = \langle 2, 6, 3, 4 \rangle \quad w = \langle 4, 8, 5, 2 \rangle$$

$$M = 9$$



Programación dinámica

Construir una matriz BMAX de dimensiones MXN de forma que BMAX[i,j] contenga el beneficio máximo que se puede obtener si la capacidad de I y se cuenta con los primeros J elementos

$$BMAX(I,1)= \begin{cases} B(1) & \text{si } I \geq W(1) \\ 0 & \text{si } I < W(1) \end{cases}$$

$$BMAX(I,J)= \text{MAX}(BMAX(I,J-1), \\ BMAX(I-W(J), j-1) + B(J))$$

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20x4

[illegible]

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$BMAX(I,1)= \begin{cases} B(1) & \text{si } I \geq W(1) \\ 0 & \text{si } I < W(1) \end{cases}$$

	1	2	3	4
1	0			
2	0			
3	0			
4	0			
5	0			
6	0			
7	3			
8	3			
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$BMAX(I,J) = \max(BMAX(I,J-1), \\ BMAX(I-W(J), j-1) + B(J))$$

Capacidades
de la mochila

	1	2	3	4
1	0			
2	0			
3	0			
4	0			
5	0			
6	0			
7	3			
8	3			
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$BMAX(I,J) = \text{MAX}(BMAX(I,J-1), \\ BMAX(I-W(J), j-1) + B(J))$$

$$BMAX(1,2) = \text{MAX}(BMAX(1,1), \\ BMAX(1-W(2), 1) + B(2))$$

No cabe en la mochila,
el elemento menos
pesado es el 2 que
pesa 5

	1	2	3	4
1	0			
2	0			
3	0			
4	0			
5	0			
6	0			
7	3			
8	3			
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$BMAX(I,J) = \text{MAX}(BMAX(I,J-1), \text{BMAX}(I-W(J), j-1) + B(J))$$

$BMAX(5,2) = ???$

$0 + 2$

	1	2	3	4
1	0	X	X	X
2	0	X	X	X
3	0	X	X	X
4	0	X	X	X
5	0			
6	0			
7	3			
8	3			
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$\begin{aligned} BMAX(I,J) &= \text{MAX}(BMAX(I,J-1), \\ &\quad BMAX(I-W(J), j-1) + B(J)) \\ BMAX(5,2) &= \text{MAX}(BMAX(5,1), \\ &\quad BMAX(5-W(2), 1) + B(2)) \\ &= \text{MAX}(0, \\ &\quad BMAX(0, 1) + 2) \\ &= \text{MAX}(0,2)=2 \end{aligned}$$

	1	2	3	4
1	0	X	X	X
2	0	X	X	X
3	0	X	X	X
4	0	X	X	X
5	0	2		
6	0			
7	3			
8	3			
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4$, $M=20$, $b=\langle 3,2,1,4 \rangle$, $w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$BMAX(I,J) = \text{MAX}(BMAX(I,J-1),$
 $BMAX(I-W(J), j-1) + B(J))$

$BMAX(5,3) = \text{MAX}(BMAX(5,2),$
 $BMAX(5-W(3), 1) + B(3))$

como 3 no cabe, el máximo sigue
siendo $BMAX(5,2)=2$

	1	2	3	4
1	0	X	X	X
2	0	X	X	X
3	0	X	X	X
4	0	X	X	X
5	0	2	2	
6	0			
7	3			
8	3			
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4$, $M=20$, $b=\langle 3,2,1,4 \rangle$, $w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$B_{MAX}(I,J) = \text{MAX}(B_{MAX}(I,J-1),$
 $B_{MAX}(I-W(J), j-1) + B(J))$

$B_{MAX}(5,4) = \text{MAX}(B_{MAX}(5,3),$
 $B_{MAX}(5-W(4), 1) + B(4))$

como 4 no cabe, el máximo sigue
siendo $B_{MAX}(5,3)=2$

	1	2	3	4
1	0	X	X	X
2	0	X	X	X
3	0	X	X	X
4	0	X	X	X
5	0	2	2	2
6	0			
7	3			
8	3			
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$BMAX(I,J)=\text{MAX}(\text{BMAX}(I,J-1), \\ \text{BMAX}(I-W(J), j-1) + B(J))$$

$$\begin{aligned} BMAX(6,2) &= \text{MAX}(\text{BMAX}(6,1), \\ &\quad \text{BMAX}(6-W(2), 1) + B(2)) \\ &= \text{MAX}(0, \\ &\quad \text{BMAX}(1, 1) + 2) \\ &= 2 \end{aligned}$$

donde $BMAX(1,1)$ ya se conoce

	1	2	3	4
1	0	X	X	X
2	0	X	X	X
3	0	X	X	X
4	0	X	X	X
5	0	2	2	2
6	0	2		
7	3			
8	3			
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$\begin{aligned} BMAX(I,J) &= \text{MAX}(BMAX(I,J-1), \\ &\quad BMAX(I-W(J), j-1) + B(J)) \\ BMAX(6,3) &= \text{MAX}(BMAX(6,2), \\ &\quad BMAX(6-W(3), 2) + B(3)) \\ &= \text{MAX}(2, \\ &\quad BMAX(0, 1) + 1) \\ &= 2 \end{aligned}$$

	1	2	3	4
1	0	X	X	X
2	0	X	X	X
3	0	X	X	X
4	0	X	X	X
5	0	2	2	2
6	0	2	2	
7	3			
8	3			
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$\begin{aligned} BMAX(I,J) &= \text{MAX}(BMAX(I, \underline{J-1}), \\ &\quad \underline{BMAX(I-W(J), j-1) + B(J)}) \\ BMAX(7,2) &= \text{MAX}(BMAX(7,1), \\ &\quad \underline{BMAX(7-W(2), 1) + B(2)}) \\ &= \text{MAX}(\underline{3}, \\ &\quad BMAX(2,1) + 2) \\ &= \text{MAX}(\underline{3, 2}) = 3 \end{aligned}$$

	1	2	3	4
1	0	X	X	X
2	0	X	X	X
3	0	X	X	X
4	0	X	X	X
5	0	2	2	2
6	0	2	2	2
7	3	3		
8	3			
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$\begin{aligned} BMAX(I,J) &= \text{MAX}(BMAX(I,J-1), \\ &\quad BMAX(I-W(J), j-1) + B(J)) \\ BMAX(8,2) &= \text{MAX}(BMAX(8,1), \\ &\quad BMAX(8-W(2), 1) + B(2)) \\ &= \text{MAX}(3, \\ &\quad BMAX(3,1) + 2) \\ &= \text{MAX}(3, 2) = 3 \end{aligned}$$

	1	2	3	4
1	0	×	×	×
2	0	×	×	×
3	0	×	×	×
4	0	×	×	×
5	0	2	2	2
6	0	2	2	2
7	3	3	3	3
8	3	3		
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3, 2, 1, 4 \rangle, w=\langle 7, 5, 6, 8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$BMAX(I, J) = \max(BMAX(I, J-1), \\ BMAX(I - W(J), j-1) + B(J))$$

$$\begin{aligned} BMAX(8, 4) &= \max(BMAX(8, 3), \\ &\quad BMAX(8 - W(4), 1) + B(4)) \\ &= \max(3, \\ &\quad \underline{BMAX(0, 1) + 4}) \\ &= \max(3, 4) = 4 \end{aligned}$$

	1	2	3	4
1	0	X	X	X
2	0	X	X	X
3	0	X	X	X
4	0	X	X	X
5	0	2	2	2
6	0	2	2	2
7	3	3	3	3
8	3	3	3	4
9	3			
10	3			
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$\begin{aligned} BMAX(I,J) &= \text{MAX}(BMAX(I,J-1), \\ &\quad BMAX(I-W(J), j-1) + B(J)) \\ BMAX(8,4) &= \text{MAX}(BMAX(8,3), \\ &\quad BMAX(8-W(4), 1) + B(4)) \\ &= \text{MAX}(3, \\ &\quad BMAX(0,1) + 4) \\ &= \text{MAX}(3, 4) = 4 \end{aligned}$$

	1	2	3	4
1	0	X	X	X
2	0	X	X	X
3	0	X	X	X
4	0	X	X	X
5	0	2	2	2
6	0	2	2	2
7	3	3	3	3
8	3	3	3	4
9	3	3	3	4
10	3	3	3	4
11	3			
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$\begin{aligned} BMAX(I,J) &= \text{MAX}(BMAX(I,J-1), \\ &\quad BMAX(I-W(J), j-1) + B(J)) \\ BMAX(11,2) &= \text{MAX}(BMAX(11,1), \\ &\quad BMAX(11-W(2), 1) + B(2)) \\ &= \text{MAX}(3, \\ &\quad BMAX(6,1) + 2) \\ &= \text{MAX}(3, 2) = 3 \end{aligned}$$

	1	2	3	4
1	0	×	×	×
2	0	×	×	×
3	0	×	×	×
4	0	×	×	×
5	0	2	2	2
6	0	2	2	2
7	3	3	3	3
8	3	3	3	4
9	3	3	3	4
10	3	3	3	4
11	3	3		
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$\begin{aligned} BMAX(I,J) &= \text{MAX}(BMAX(I,J-1), \\ &\quad BMAX(I-W(J), j-1) + B(J)) \\ BMAX(11,3) &= \text{MAX}(BMAX(11,2), \\ &\quad BMAX(11-W(3), 2) + B(3)) \\ &= \text{MAX}(3, \\ &\quad BMAX(5,2) + 2) \\ &= \text{MAX}(3, 4) = 4 \end{aligned}$$

El 4 se obtiene
entonces por $\langle 0, \underline{1}, 1, 0 \rangle$

	1	2	3	4
1	0	×	×	×
2	0	×	×	×
3	0	×	×	×
4	0	×	×	×
5	0	2	2	2
6	0	2	2	2
7	3	3	3	3
8	3	3	3	4
9	3	4	4	4
10	3	4	4	4
11	3	3	4	
12	3			
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4, M=20, b=\langle 3,2,1,4 \rangle, w=\langle 7,5,6,8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$\begin{aligned} BMAX(I,J) &= \text{MAX}(BMAX(I,J-1), \\ &\quad BMAX(I-W(J), j-1) + B(J)) \\ BMAX(12,2) &= \text{MAX}(BMAX(12,1), \\ &\quad BMAX(12-W(2), 1) + B(2)) \\ &= \text{MAX}(3, \\ &\quad BMAX(7,2) + 2) \\ &= \text{MAX}(3, 5) = 5 \end{aligned}$$

Se continua el proceso, al final
se tendrá el valor optimo

	1	2	3	4
1	0	×	×	×
2	0	×	×	×
3	0	×	×	×
4	0	×	×	×
5	0	2	2	2
6	0	2	2	2
7	3	3	3	3
8	3	3	3	4
9	3	4	4	4
10	3	4	4	4
11	3	3	4	4
12	3	5		
13	3			
14	3			
15	3			
16	3			
17	3			
18	3			
19	3			
20	3			

$N=4$, $M=20$, $b=\langle 3, 2, 1, 4 \rangle$, $w=\langle 7, 5, 6, 8 \rangle$

Se crea una matriz de 20×4

$$BMAX(I, J) = \max(BMAX(I, J-1), BMAX(I-W(J), j-1) + B(J))$$

$$BMAX(12, 2) = \max(BMAX(12, 1), BMAX(12-W(2), 1) + B(2))$$

$$= \max(3, BMAX(7, 2) + 2)$$

$$= \max(3, 5) = 5$$

Para obtener la respuesta se guardan los valores de j con los que se obtiene el valor máximo

$M(1, 1, 7)$

$\langle 1000 \rangle$

$M(1, 1, 13)$

$\langle 1100 \rangle$

	1	2	3	4
1	0	X	X	X
2	0	X	X	X
3	0	X	X	X
4	0	X	X	X
5	0	2	2	2
6	0	2	2	2
7	3	3	3	3
8	3	3	3	4
9	3	4	4	4
10	3	4	4	4
11	3	3	4	4
12	3	5	5	5
13	3	5	5	6
14	3	5	5	6
15	3	5	5	7
16	3	5		
17	3	5		
18	3	5		
19	3	5		
20	3	5		

$M = \emptyset$ $N = 3$ $b = \langle 2, 3, 1 \rangle$ $w = \langle 4, 5, 6 \rangle$

		1	2	3
	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
$\langle 000 \rangle$	4	2	2	2
$\langle 100 \rangle$	5	2	3	3
	6	2	3	3
	7	2	3	3
$\langle 010 \rangle$	8	2	3	3
	9	2	3	3
$\langle 110 \rangle$	10	2	3	3

$O(n^2)$
 # elements
 i cup
 mech

$\langle 010 \rangle$

$\langle 010 \rangle$

$\langle 010 \rangle$

$\langle 110 \rangle$