

Treball de Fi de Grau
Grau en Enginyeria de Tecnologies Industrials

**Millora del procés d'empaquetat en un centre
logístic d'una indústria de material elèctric**

MEMÒRIA

Autor: Guillem Martinez Garcia

Director: Manel Mateo Doll

Convocatòria: gener 2015



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Aquest treball es situa en el centre logístic d'una indústria de material elèctric on es té la necessitat de col·locar els productes en caixes abans de ser expedits a les seves destinacions. Actualment, l'algorisme utilitzat per aquest propòsit no genera els resultats desitjats per l'empresa. Per aquest motiu, s'ha decidit buscar un algorisme alternatiu que millori els resultats actuals ja que d'aquesta forma es generaria una considerable reducció de costos.

Per a un problema com aquest, obtenir la solució òptima requereix un procés excessivament llarg. Per això, es recorre a l'ús d'heurístiques que, encara que no garanteixen trobar la solució òptima, són capaces de trobar una solució satisfactòria en un període de temps acceptable.

El procediment heurístic que s'ha escollit és de tipus directe ("*greedy*"), que segueix un mètode constructiu. D'aquesta forma, es construeix una solució afegint elements de forma progressiva a partir de passos i iteracions, on a cada iteració es tria l'element que millor rendiment ha obtingut.

Per resoldre aquest problema s'ha creat un programa realitzat amb l'eina informàtica Visual Bàsic. Abans d'executar-lo s'han d'afegir les dades dels articles en un full d'Excel i el programa retorna la solució indicant la quantitat d'elements de cada article que van en cada caixa.

Els resultats computacionals obtinguts demostren que l'algorisme proposat aconsegueix millorar en un 5% l'eficàcia de l'empaquetat actual, tot garantint la col·locació dels articles a la seva caixa corresponent.



Sumari

Resum	1
Sumari	3
1. Introducció	7
1.1. Origen del Treball	7
1.2. Objectius i abast	8
2. L'empresa i el seu sistema	9
3. El centre logístic de Sant Boi de Llobregat	11
3.1. Generalitats	11
3.2. Companyies de serveis logístics	12
3.3 Articles	13
3.4. Estandardització de les caixes (<i>"Plan Contenant"</i>)	13
4. Procés actual	15
5. Situació i problemàtica	18
6. Resultats d'interès	20
7. El "bin packing problem"	21
8. Procediments de resolució del problema	26
8.1. Mètodes de resolució de problemes combinatoris	26
8.1.1. Procediments exactes	26
8.1.2. Procediments heurístics	27
8.2. Procediments de selecció	30

9. Procediments i algorismes proposats per a la resolució del cas 3D MBSBPP amb limitació massica 31

9.1. Paràmetres del cas	31
9.2. Procediments bàsics.....	32
9.2.1. Procediment 1: un sol tipus d'article, un espai	33
9.2.1.1. Determinació del nombre màxim d'articles d'un sol tipus j que hi caben en un espai t , en una posició determinada	33
9.2.1.2. Escollir opció i reordenar les coordenades d'un tipus d'article ...	34
9.2.1.3. Determinar l'espai ocupat.....	36
9.2.2. Procediment 2: un sol tipus d'article, un espai, nombre d'articles inferior a $MaxP$	37
9.2.2.1. Determinar l'espai ortogonal ocupat	38
9.2.2.2. Determinar el nombre d'espais buits dins l'espai ortogonal	43
9.2.2.3. Unir els espais buits.....	43
9.2.3. Procediment 3: determinació dels espais buits generats a partir de les zones buides d'un espai determinat	48
9.2.3.1. Variant 3.1.: maximitzar espai superior (cas $B+A+A'$)	50
9.2.3.2. Variant 3.2.: maximitzar espais laterals (cas $C+A$ i $D+A'$)	51
9.2.4. Exemple	53
9.3. Algorismes	56
9.3.1. Algorisme 1: un sol tipus d'article	56
9.3.2. Algorisme 2: diferents tipus d'articles	58
9.3.3. Algorisme 3: reduir última caixa	63

10. Avaluació dels algorismes	64
10.1. Algorisme 1: 1 sol tipus d'article	65
10.1.1. Descripció del Programa Algorisme 1	65
10.1.2. Joc de dades avaluat	66
10.1.3. Avaluar el comportament de l'algorisme per cada tipus de caixa..	66
10.1.4. Conclusions	67
10.2. Algorisme 2+3: diferents tipus d'articles	68
10.2.1. Descripció del Programa Algorisme 2+3	68
10.2.2. Joc de dades avaluat	69
10.2.3. Avaluar el comportament de l'algorisme	71
10.2.4. Conclusions	72
11. Pressupost	73
11.1. Inversió inicial	73
11.2. Estalvi: canvis de caixa	73
11.3. Estalvi: Transport dels lliuraments	74
11.4. Càlcul de la inversió	75
12. Impacte ambiental	77
Conclusions i treball futur	79
Bibliografia	81
Referències bibliogràfiques	81
Bibliografia complementaria	82
Agraïments	83

Annex A. Especificacions tècniques dels tipus de caixes	84
Annex B. Comprovació resultats Algorisme 1	87
Annex C. Resultats Algorisme 2+3	95
C.1. Simulació 1: tots els tipus d'article i una unitat de cada tipus	95
C.2. Simulació 2: tots els tipus d'article i dues unitat de cada tipus	97
C.3. Simulació 3: tots els tipus d'article en unitats creixents d'1 en1	99
C.4. Simulació 4: articles majors de 3 dm ³ en unitats creixents de 2 en 2	101
C.5. Simulació 5: articles menors de 3 dm ³ en unitats creixents de 5 en 5	102
Annex D Comprovació resultats Algorisme 2+3	103
Annex E. Resultats Algorisme 2+3 sense màssa dels articles	107
E.1. Simulació 1: tots els tipus d'article i una unitat de cada tipus	108
E.2. Simulació 2: tots els tipus d'article i dues unitat de cada tipus	108
E.3. Simulació 3: tots els tipus d'article en unitats creixents d'1 en1	109
E.4. Simulació 4: articles majors de 3 dm ³ en unitats creixents de 2 en 2	110
E.5. Simulació 5: articles menors de 3 dm ³ en unitats creixents de 5 en 5	111
Annex F. Codi del Programa Algorisme 1	112
F.1.Mòdul 1. Empaquetar	112
F.2.Mòdul 2. Netejar	118
Annex G. Codi del Programa Algorisme 2	119
G.1. Mòdul 1. Empaquetar	119
G.2. Mòdul 2. Reduir última caixa	141

1. Introducció

1.1. Origen del treball

Tota empresa que genera algun tipus de producte necessita d'algun transport per fer arribar aquests productes i articles del magatzem fins al client. Per realitzar aquest transport els articles es col·loquen en caixes, si són prou petits. Aquestes caixes es poden enviar per separat o agrupar en palets amb altres caixes. L'optimització de l'espai en aquestes comporta un nombre menor de caixes o caixes de menors mesures, fet que es tradueix en un volum menor i una reducció de costos en el concepte del transport. Al mateix temps, també es pot donar el cas que el programa que realitza l'empaquetat virtual proporcioni una solució on s'hagin de col·locar més articles dels possibles a la caixa. Això comporta una manipulació d'aquestes caixes per reorganitzar els articles. Aquest últim error fa que un operari hagi de posposar la seva feina original per realitzar la tasca de reorganització de les caixes. D'aquesta manera, apareix una improductivitat, ja que l'operari no pot fer la seva feina, i això genera uns costos extrems.

El problema d'empaquetar una sèrie d'articles en una caixa es coneix com "3D bin-packing problem". Aquest és un problema molt complex ja que si la quantitat d'articles o els diferents tipus augmenta, la complexitat del problema augmenta en *temps polinòmic no determinista* (George i Robinson, 1980). Per aquest motiu, aquest problema és del tipus denominat NP (acrònim de "nondeterministic polynomial time"), i en concret pertany als NP-Hard. Això significa que la solució òptima podria ser trobada provant totes les diferents combinacions de possibles solucions. Si els diferents factors a tenir en compte augmenten, el problema pot necessitar de tantes iteracions que no podrà ser solucionat en temps polinòmic ni amb els ordinadors més potents de l'actualitat (Dube i Kanavathy, 2006). Tot i això es pot arribar a alguns algorismes heurístics que proporcionin una solució prou bona, fins i tot òptima, però això difícilment es podrà provar.

En aquest treball es buscarà un algorisme que s'apropi al màxim a l'òptim a la vegada que es pugui garantir el compliment de les restriccions, és a dir, que no s'excedeixi la capacitat de les caixes i es respecti el límit de pes per cada caixa. L'interès final és aplicar aquestes solucions al magatzem de Sant Boi de l'empresa Schneider Electric, i per aquest motiu es realitzaran les

suposicions i restriccions necessàries per adaptar-se al seu cas i així trobar un algorisme amb uns paràmetres i una combinació de procediments adequats, que proporcionin uns bons resultats.

1.2. Objectius i abast

Aquest treball es centrarà en:

- Estudiar el funcionament de l'empresa i, en particular, el del seu Centre Logístic de Sant Boi de Llobregat, i avaluar el procés d'empaquetat actual.
- Analitzar i estudiar la literatura sobre el "*bin packing problem*" i els possibles procediments de resolució.
- Dissenyar un algorisme que proporcionin una solució d'eficàcia superior, mitjançant l'aplicació d'algorismes heurístics.
- Comprovar l'aptitud de l'algorisme i el programa corresponent, i analitzar els resultats obtinguts.
- Calcular l'impacte econòmic que comporta la implementació del programa.

2. L'empresa i el seu sistema

Schneider Electric és una companyia francesa que opera a nivell mundial. Va ser fundada per dos germans, Eugène i Adolphe Schneider, en el 1836. Originalment s'especialitzava en la indústria pesada, però actualment és una empresa líder en la indústria elèctrica i en la gestió de l'energia, especialment es centra en les instal·lacions elèctriques, processos d'automatització i en la producció de material i equipament elèctric.

En els seus orígens l'empresa només utilitzava el nom de Schneider. El creixement de la companyia en les últimes dècades la van portar a expandir-se en el sector de l'electricitat mitjançant l'adquisició d'empreses amb competències complementàries en aquesta àrea. Amb tres marques internacionals com Merlin Gerin, Square D i Telemecanique, incorporades entre el 1986 i 1991, Schneider es va convertir en un dels principals fabricants del món d'equips per a la distribució elèctrica, control industrial i l'automatització. Tot i això, fins l'any 1996 l'empresa no es va centrar exclusivament en el sector de l'electricitat, i no va ser fins el maig de 1999 que no va adoptar el nom de Schneider Electric. A partir de l'any 2000, es va introduir un programa centrat en el creixement, l'eficiència i la innovació que s'ha manifestat amb l'adquisició de una quarantena d'empreses del sector a nivell global.



Figura 2.1. – Logo de *Schneider* l'any 1950 (font: Schneider Electric, 2005a)

Actualment l'empresa té la seva seu a Rueil-Malmaison (França) i té més de 150.000 empleats arreu del món, repartits en més de 100 països. Presenta uns ingressos de 24 mil milions d'euros (any 2013), amb un 41% de les vendes realitzades a països emergents i noves economies. A més, destina un 5 % dels ingressos de les vendes a R&D (Recerca i Desenvolupament), amb el que s'han creat 385 noves aplicacions patentades durant l'any 2011,

i on treballen més de 11000 enginyers per tot el món. D'aquesta manera l'empresa vol oferir solucions i equipament que promoguin l'eficiència energètica i de forma personalitzada per cada empresa.

Schneider Electric està present a Espanya des dels anys 50, quan la marca Telemecanique s'introdueix a Espanya de la mà de Manufactures Metàl·liques Madrilenyes. No seria fins a 1994, amb la fusió de Merlin Gerin i Telemecanique, en què neix Schneider Electric Espanya.

Actualment, hi ha 9 centres de producció repartits per tota la geografia peninsular, però la major part de l'activitat de Schneider Electric Espanya es troba a Catalunya on hi ha la seu central, a Barcelona (Bac de Roda), el centre logístic, a Sant Boi de Llobregat, i alguns dels centres de producció com els de Capellades i Molins de Rei. La figura 2.2. mostra la configuració de Schneider Electric a Catalunya l'any 2009.



Figura 2.2. – Schneider Electric a Catalunya (font: Schneider Electric, 2009)

3. El centre logístic de Sant Boi de Llobregat

3.1. Generalitats

El centre logístic de Sant Boi de Llobregat va sorgir quan la multinacional nord-americana ProLogis va construir un gran parc logístic i industrial de 115000 m² a Sant Boi de Llobregat, a principis de l'any 2002. Schneider Electric va traslladar, a Sant Boi de Llobregat, les seves oficines i el seu espai de magatzem, que estaven disperses en quatre delegacions a Cornellà, Pallejà, Igualada i Navarra. El centre disposava de 28000 m² que es traduïen en 34000 m³ de prestatgeries, on s'albergaven més de 20000 referències de diferents articles distribuïts per l'empresa. A més, era capaç d'expedir 12000 línies de comanda i 9000 bultos al dia (veure Viure Sant Boi, 2001). Tot i això, el centre només distribuïa a la Península Ibèrica i es proveïa de tot el material del magatzem central situat a França (Evreux).

Schneider va estudiar la possibilitat d'externalitzar les tasques de logística i distribució. No obstant això, la quantitat de mercaderia que mou i la mida de les instal·lacions que necessitava per a la seva manipulació van desbaratar aquesta opció .

L'any 2012, l'empresa va ampliar el centre incorporant una altra nau amb el que va passar a tenir 58000 m² (veure Europa Press, 2012), convertint-se en el més gran de la companyia a nivell mundial. Aquesta ampliació va fer que el centre evolucionés i entrés en el mercat d'exportació. A més, va començar a proveir-se directament de fàbriques i altres centres, a part d'Evreux, com són: *Newlog* (França), *Puente de la Reina* (Espanya - Navarra), *Digilink* (Índia), *Capellades*, *Molins de Rei* i altres 20 fàbriques d'arreu del món.

Actualment, el centre gestiona un estoc mensual valorat en 70 milions d'euros i compta amb més de 400 treballadors. A més, és capaç d'expedir 4 milions de línies de comandes a l'any a més de 100 països del territori EMEA que comprèn Europa, Àfrica, Orient Pròxim, Amèrica del Sud i Centreamèrica, on tots els territoris excepte Europa són exclusius del centre (veure figura 3.1.). L'empresa ha apostat per Sant Boi de Llobregat per la proximitat al port de Barcelona i a l'aeroport del Prat de Llobregat, i per la competitivitat del centre, que dirigeix totes les operacions globals excepte Àsia i Amèrica del Nord.

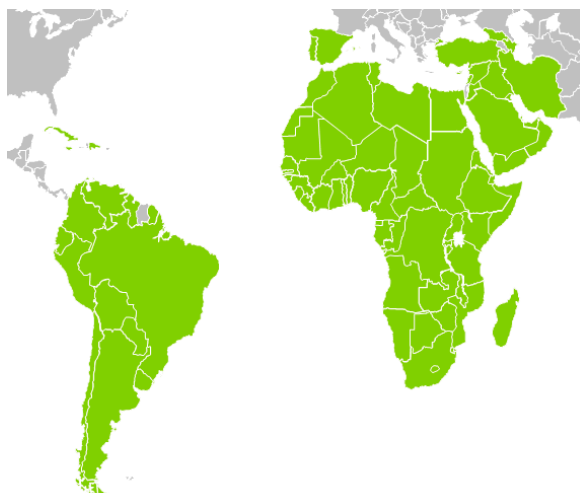


Figura 3.1. – Zones de distribució exclusiva del centre logístic de Sant Boi de Llobregat
(font: Schneider Electric, 2009)

El centre classifica els diferents articles en tres seccions: Gran Volum, Petit Volum i Materials Llargs. Tant els articles de Materials Llargs com els de Gran Volum, quan s'han d'expedir, es paletitzen directament, mentre que els elements de Petit Volum s'agrupen en caixes abans de ser paletitzats.

3.2. Companyies de serveis logístics

El centre té contractades diferents companyies de serveis logístics que s'encarreguen del transport dels productes. Dependent de la destinació i el medi de transport s'utilitzen diferents empreses. A la taula 3.1 es pot veure una classificació de les més utilitzades segons el destí i el medi de transport.

	Terrestre	Destí	Marítim	Destí	Aeri	Destí	Express	Destí
DHL			X	Amèrica del Sud Orient Pròxim	X	EMEA	X	EMEA
Schenker			X	Amèrica del Sud Centreamèrica				
TIBA			X	Àfrica				
Rhenus	X	Europa						
Panalpina					X	Centreamèrica		

Taula 3.1 – Transportistes i medi de transport (font: elaboració pròpia)

3.3. Articles

L'empresa Schneider Electric ofereix una extensa gama d'articles pel control i l'automatització de l'energia. Principalment es centra en la mitja i baixa tensió, encara que també ofereix part dels seus serveis per a alta tensió. Entre altres, l'empresa té focalitzada la seva major producció en elements de quadres elèctrics, tant domèstics com a nivell industrial. D'aquests elements destaquen els magnetotèrmics, els diferencials, protectors contra sobretensions, interruptors IGA (Interruptor General Automàtic), interruptors ICP (Interruptor de Control de Potència), fusibles i elements de protecció com envoltants, armaris o portafusibles (veure figura 3.2.).

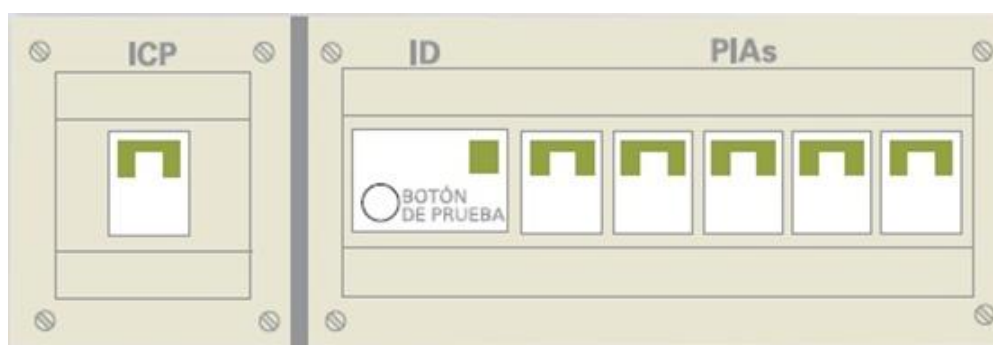


Figura 3.2 – Exemple dels elements d'un quadre elèctric domèstic (font: Endesa Distribución)

També es poden trobar altres accessoris com endolls, interruptors corrents, cables de connexió Ethernet, diferents eines i complements per muntatges elèctrics o elements de medicació per la comprovació tant de quadres com de màquines elèctriques. D'altra banda, també es comercialitzen elements de gran volum com trams de Canalis, pel transport de l'electricitat.

3.4. Estandardització de les caixes (*"Plan Contenant"*)

L'any 2005, l'empresa va imposar una estandardització que van haver de complir tots els seus centres i els diferents proveïdors. Aquesta estandardització es va anomenar "*Plan Contenant*" i va servir per estandarditzar les caixes utilitzades en l'emmagatzematge i transport dels articles i productes. Es van crear 5 models de caixes diferents: S01, S02, S03, S04 i S06. Per les quatre primeres, el volum d'una és el doble de l'anterior. En el cas de la S06, el seu volum és aproximadament quatre vegades el de la S04. Les característiques tècniques de les caixes es

mostren a la taula 3.2, s'il·lustren a la figura 3.4. i es completen a l'annex A. El "*Plan Contenant*" va permetre determinar exactament la capacitat de les ubicacions dels magatzems i va simplificar molt la construcció dels palets ja que es pot conèixer perfectament com s'han de col·locar les caixes per tenir un palet de forma ortogonal i amb la superfície totalment aprofitada.

	Límit Màssic (kg)	Paràmetres Interiors				Paràmetres Exteriors			
		Amp. (mm)	Prof. (mm)	Alt. (mm)	Volum (dm ³)	Amp. (mm)	Prof. (mm)	Alt. (mm)	Volum (dm ³)
S01	5	378	127	139	6,67	398	148	150	8,83
S02	10	374	273	135	13,78	398	299	150	17,85
S03	20	374	273	285	29,09	398	299	300	35,7
S04	25	574	373	285	61,01	598	397	300	71,22
S06	25	735	535	575	226	800	600	735	352

Taula 3.2. – Diferents caixes del "*Plan Contenant*" amb els seus paràmetres (font: elaboració pròpia)

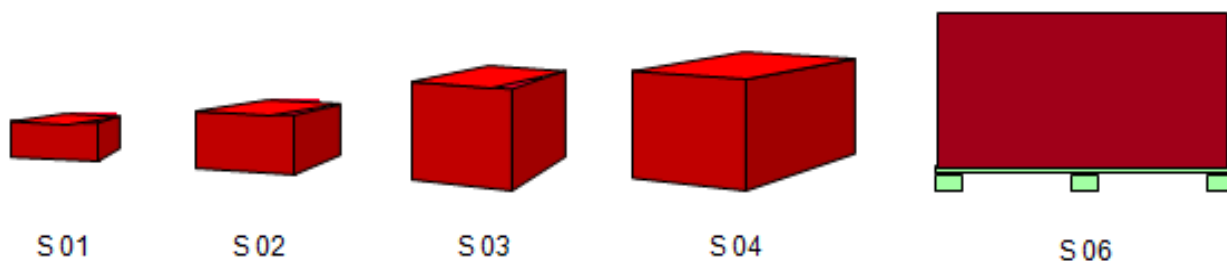


Figura 3.4. – Diferents caixes del "*Plan Contenant*" (font: Schneider Electric, 2005b)

Tot i que la caixa S06 existeix i està estandarditzada en el "*Plan Contenant*", en el centre de Sant Boi de Llobregat només s'utilitza en casos especials i, per tant, no es tindrà en compte en els posteriors estudis d'aquest projecte.

Quan es va crear el "*Plan Contenant*", també es va modificar la característica que definia si un article pertany a la secció de Gran Volum o de Petit Volum. En aquell moment, un article es va definir com a Petit Volum si es pot introduir en una caixa S04, mentre que si no hi cap, l'article forma part de la secció de Gran Volum. Aquesta regla de classificació encara s'utilitza actualment.

4. Procés actual

Actualment s'utilitza una eina anomenada *Pick and Pack* que és l'encarregada de determinar l'empaquetat dels lliuraments de les comandes. Està implementada dins de SAP que és un programa de gestió ERP (*Enterprise Resource Planning*) que permet optimitzar i gestionar diferents aspectes com els sistemes de ventes, compres, fabricació, inventaris...

Les característiques de l'algorisme van obligar a imposar un límit en el percentatge d'ompliment de cada tipus de caixa. D'aquesta forma es va procurar trobar uns valors que mantinguessin un empaquetat acceptable sense que es necessités, en excessives ocasions, un canvi a una caixa major, per la impossibilitat de col·locar els articles en aquesta. Els valors que es van estipular son els següents:

- S04: 75% d'ompliment
- S03: 70% d'ompliment
- S02: 65% d'ompliment
- S01: 60% d'ompliment

A més, en el procés actual, s'han creat algunes regles per millorar l'ergonomia dels operaris que manipulen les caixes. Aquestes regles són:

1. La caixa de major volum que s'utilitzarà per defecte és la S03 i només s'utilitzarà una S04 quan hi hagin elements que no hi càpiguen en una S03.
2. Cap caixa podrà excedir els 25 kg. Aquesta limitació només afectarà a les caixes S04 i S06 ja que són les úniques que, per les seves característiques, podrien superar aquesta cota.

Per últim, mencionar que la tots els articles a empaquetar han de ser col·locats necessàriament en alguna caixa; no pot quedar cap sense caixa assignada. Per aquest motiu, no s'imposa cap límit o restricció en el nombre de caixes a utilitzar.

Aquestes regles s'hauran de mantenir en les posteriors modificacions de l'algorisme, tot i que empitjorin els resultats de l'empaquetament. A més, l'empaquetat es seguirà fent per lliurament.

En el procés actual, la creació, ompliment i tancament de cada caixa respondrà a l'algorisme següent:

1. Es prendrà la caixa adequada per incloure les agrupacions d'articles i referències, en principi la major de les disponibles (S03).
2. Abans d'incloure una agrupació o referència en una caixa, es realitzarà les següents comprovacions:
 - a. La més gran de les tres dimensions, alt, llarg i ample de la referència, o de la major de les referències d'una agrupació és inferior a la més gran de les tres dimensions del tipus de caixa triada.
 - b. El límit de pes, quan n'hi hagi, no es sobrepassa.
 - c. El límit de volum no es sobrepassa, complint el percentatge d'ompliment estipulat.
3. En cas de superar un d'aquests límits, es verificarà la seva cabuda en alguna caixa oberta, anteriorment creada. Si no n'hi hagués cap s'obriria una caixa nova.
4. Després d'incloure una agrupació o una referència individual en una caixa, si s'ha arribat al volum o pes límit d'aquesta amb una tolerància de dos punts percentuals, es tancarà. Si encara no s'ha arribat, es mantindrà la caixa actual i es passarà a la següent agrupació o referència.
5. Un cop tractada l'última agrupació o referència individual, es procedirà a l'ajust de les caixes que no hagin estat tancades. És a dir, s'intentarà optimitzar a un nivell inferior (una caixa més petita de les disponibles), sempre que no s'infringeixin els límits de pes i volum.

A la figura 4.1. es pot veure l'esquema de l'algorisme anterior amb tots els passos, decisions i iteracions que succeeixen durant el procés.

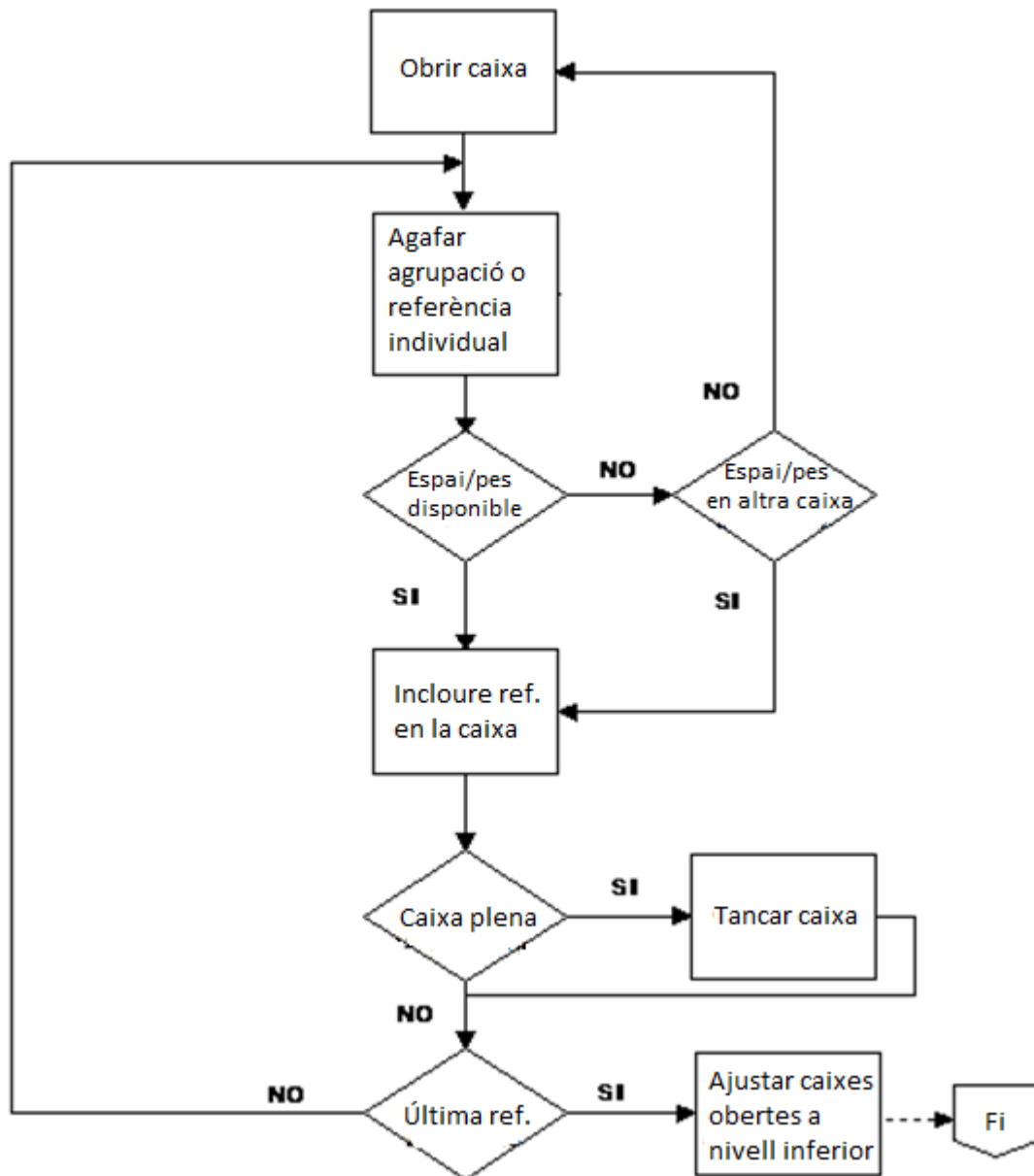


Figura 4.1. – Esquema algorisme procés actual (font: Schneider Electric)

5. Situació i problemàtica

El centre opera globalment generant una gran quantitat de línies i bultos diàriament. Això significa que es genera un gran moviment d'articles i productes diferents, fet que dóna una major importància a l'optimització de l'empaquetament. Un mal aprofitament del volum de les caixes es tradueix en la necessitat d'utilitzar més caixes de les necessàries. Aquest fet no només genera unes pèrdues per la utilització de més caixes a finals d'any, sinó que el gran problema és l'augment de cost del transport associat a aquest volum extra innecessari. És un tema important per fet de que és la pròpia empresa la que suporta el cost del transport.

A part dels problemes esmentats anteriorment, també es troba el problema de canvis de caixa quan no es poden col·locar tots els articles a la seva caixa corresponent i s'ha de passar a una més gran. Aquest problema és degut a l'algorisme utilitzat actualment per realitzar l'empaquetament, ja que és poc robust. Aquesta falta de robustesa és deguda a que l'algorisme només té en compte el volum total dels articles respecte al de la caixa, comparant el costat més llarg de cada article amb el costat més llarg de la caixa. Això significa que no té en compte les formes i les mesures dels articles ni la col·locació d'aquests. Per aquest motiu, l'algorisme utilitzat actualment falla regularment quan els articles no s'adeqüen a la caixa ja que, encara que per volum total els articles poguessin cabre, en la realitat no és possible la seva col·locació.

La taula 5.1. mostra una mitjana mensual dels canvis de caixa realitzats els últims 6 mesos (de juliol a desembre), al centre logístic de Sant Boi.

Tipus de caixa	Canvis/mes
S01	129
S02	361
S03	672
S04	41
Total	1203

Taula 5.1 – Mitjana mensual dels canvis de caixa segons el tipus (font: elaboració pròpia)

Per avaluar l'impacte en temps que comporta els canvis de caixa, fa falta establir alguns paràmetres com:

- Temps de canvi de caixa: 3 min/canvi (estipulat per l'empresa)
- Sou dels operaris: aproximadament 7 €/h

Sabent que es necessitarà 3 minuts per canvi, es pot obtenir el temps total mensual destinat a aquesta tasca, que serà de 3609 minuts/mes (60,15 h/mes). Multiplicant el valor anterior pel sou dels operaris s'obtenen unes pèrdues mensuals de 421,05 €/mes, que es tradueix en **5052,60 €** anuals.

6. Resultats d'interès

Aquest projecte es centra en trobar un algorisme que empaqueti un conjunt d'articles diferents de la forma òptima per minimitzar el volum total utilitzat. A la vegada, també interessa saber quins articles s'han de col·locar en cada caixa, ja que posteriorment s'hauran d'introduir en les seves caixes corresponents durant el procés de "*picking*".

Per això, els resultats d'interès que ha de retornar l'algorisme són:

- 1- Quins elements i en quin nombre han d'anar col·locats en cada caixa.
- 2- Quin és el percentatge de volum utilitzat.
- 3- Quin és el percentatge de massa utilitzada sobre el màxim de massa permesa.
- 4- Quin és el temps d'execució de l'algorisme.

D'aquesta forma es pot saber, a més dels elements que han d'anar a cada caixa (resultat 1), que és l'objectiu principal, si l'algorisme proporciona una solució amb uns paràmetres de volum i pes prou bons (resultats 2 i 3) en un temps de càlcul relativament curt (resultat 4).

Una informació que pot ser d'interès en molts casos és on va situat cada element en la caixa. En aquest cas no és significatiu ja que cada caixa només portarà una etiqueta que descriu els diferents elements i les quantitats de cadascun, i no tindrà cap dibuix o instrucció per a la distribució dels elements en la caixa.

7. El “*bin packing problem*”

El “*bin packing problem*” (BPP), com molts que es presenten en el domini d'organització industrial, és de tipus combinatori. Resoldre un problema combinatori es pot resumir en trobar la solució òptima dins d'un conjunt finit d'alternatives, assumint que la qualitat de la solució és quantificable i comparable amb qualsevol altra solució (Morales, 1999). En molts problemes, depenent de la seva complexitat, arribar a la solució òptima requereix un procés excessivament llarg.

En aquests tipus de problemes, una sèrie d'objectes de diferents volums han de ser embalats en un nombre finit de caixes o contenidors, d'un volum determinat cadascun, de manera que es minimitzi el nombre de contenidors utilitzats o el volum total. Com s'ha esmentat anteriorment es tracta d'un problema del tipus NP i, en concret, de tipus NP-Hard.

Es parla d'un problema tipus P si existeix un algorisme que en temps polinòmic és capaç de trobar la solució; si, per contra, no existeix aquest algorisme, el problema és NP. A més, el problema es classifica com NP-Hard si tot problema de NP és polinòmicament reductible a ell (Fernández-Baños, 2003).

D'aquesta manera, els procediments de resolució poden ser de dos tipus:

- **Exactes:** garanteixen trobar la solució òptima (però si el problema és prou complex, el temps emprat en trobar i garantir solució desitjada pot no ser viable).
- **Heurístics:** no garanteixen trobar la solució òptima buscada, però potser sí una solució satisfactòria en un període de temps permissiu.

En el cas del “*bin packing*”, cada contenidor pot emmagatzemar qualsevol conjunt de la col·lecció d'objectes, però no es pot excedir la seva capacitat. Aquest problema pot ser pensat com un problema de factibilitat o un problema d'optimització. El problema de factibilitat avalua si hi ha prou espai lliure per guardar els objectes o no. Alternativament, el problema d'optimització intenta minimitzar el nombre de contenidors o reduir al mínim la quantitat de capacitat desaproveitada (Sweep, 2003), i, per tant, proposar una solució més eficient. Mentre que el

problema de factibilitat té una resposta booleana, la resposta d'optimització és més complexa ja que té una resposta numèrica. Els matemàtics i científics informàtics consideren que el problema de factibilitat és NP-complet (és a dir, quan el problema és NP i NP-Hard), mentre el problema d'optimització, que és en el que es centra aquest document, és NP-Hard.

El BPP es pot presentar de forma que només hi hagi una mida de caixa per realitzar l'empaquetament, aquest cas s'anomena *Single Bin Size Bin Packing Problem* (SBSBPP), o que hi hagin caixes de diferents mides, anomenat *Multiple Bin Size Bin Packing Problem* (MBSBPP). Aquesta característica augmenta la dificultat del problema ja que hi ha un altra decisió que s'haurà de prendre, quina mida de caixa utilitzar en cada cas.

L'empaquetat, en el món real, sempre és tridimensional i en un volum determinat. Tot i això, depenent de la situació, es poden trobar casos més simplificats on alguns dels paràmetres o dimensions no es tenen en compte. Això pot ser degut a què aquests paràmetres són fixos tant per als contenidors com per als articles a empaquetar o perquè no es tenen restriccions de dimensió en aquests.

Depenent dels paràmetres que es tinguin en compte es poden trobar els següents casos:

1. **Cas 1D (1 dimensió):** aquest és el cas més senzill de problemes d'empaquetat. Es defineix en termes d'un paràmetre, mantenint fixes els altres dos. Així, com es mostra en l'exemple de la figura 7.1, tots els elements i els contenidors tenen una mateixa amplada fixa amb cap restricció respecte l'alçada, mentre que les longituds dels elements són variables i no poden excedir la longitud del contenidor. A més, en aquest exemple es mostra l'optimització dels contenidors, ja que amb els mateixos elements s'ha reduït el nombre de contenidors de 4 a 3.

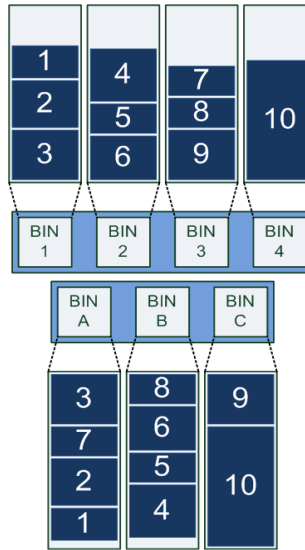


Figura 7.1 – Optimització dels contenidors en el cas 1D (font: Jankovic, 2013)

2. **Cas 2D (2 dimensions):** ara intervenen dos dimensions, mentre que la tercera segueix mantenint-se fixe. Aquest problema pot ser pensat com la col·locació de rectangles en una superfície plana, tot i que també s'ha estudiat amb elements de contorn circular, veure Lodi et al. (2002). A l'exemple de la figura 7.2, es pot observar com han sigut col·locats diferents articles, amb longituds i amplades variables, dins d'un contenidor de perfil quadrat.

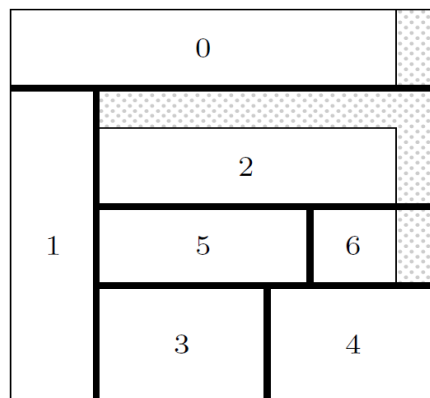


Figura 7.2 – Col·locació de certs elements dins d'un contenidor en el cas 2D (font: Fleszar)

3. **Cas 3D (3 dimensions):** El problema d'empaquetat tridimensional és el més complex. En aquest cas, es consideren les tres dimensions tant dels objectes com dels contenidors. Igual que en el cas 2D, cada caixa ha de conservar l'ortogonalitat.

La figura 7.3 mostra l'empaquetat de diferents elements tridimensionals dins d'un contenidor. S'observa la disposició dels diferents articles a partir de 3 imatges, ja que s'han de poder interpretar les 3 coordenades per saber el lloc exacte on ha d'anar cada article. La imatge esquerra mostra una vista davantera tridimensional del contenidor, mentre que la imatge dreta superior mostra l'alçat, i la inferior, la vista lateral d'aquest.

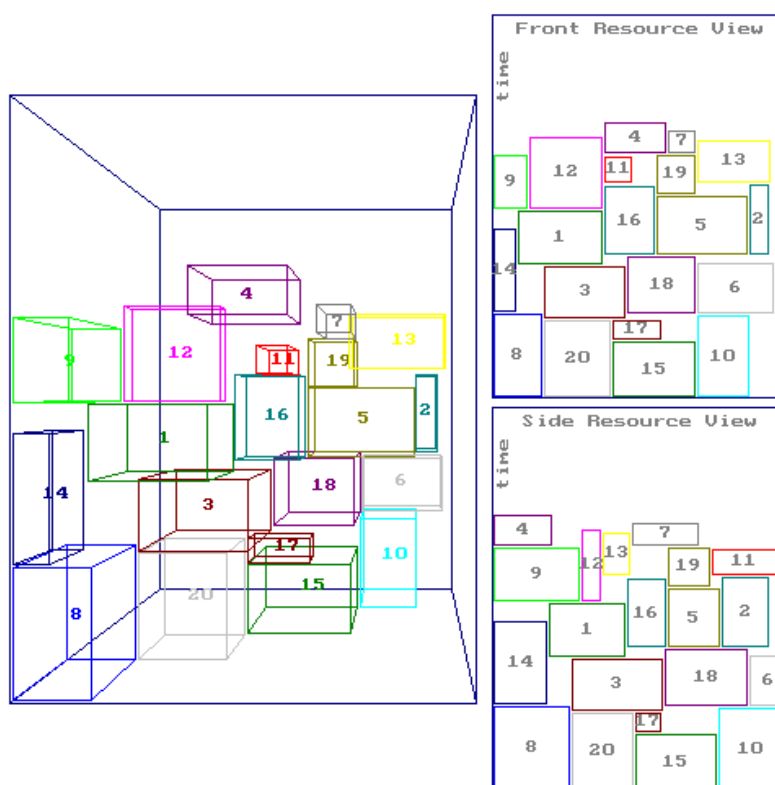


Figura 7.3 – Col·locació de certs elements dins d'un contenidor en el cas 3D (font: Astrokettle Algorithms)

Com en tots els problemes de “bin-packing”, es poden incloure limitacions addicionals per adequar-se més a les situacions del món real que ho requereixin. Una d'aquestes pot ser la distribució del pes en les caixes. Els objectes reals tenen massa i pes, de manera que en un embalatge es pot desitjar que la distribució del pes sigui homogeni en l'espai. També és

possible que no es vulgui un objecte gran i pesat sobre altres que siguin fràgils, o que es limiti l'orientació dels elements per la necessitat de que estiguin recolzats sobre algun costat en particular. És evident que les limitacions són infinites.

El cas que s'analitza en aquest projecte té caixes de diferents mides, acotades en les tres dimensions, i amb tots els elements tridimensionals que poden ser rotats al voltant de qualsevol dels tres eixos ja que no existeix cap restricció en l'orientació d'aquests. A més, s'inclou la limitació de la capacitat màssica màxima que cada tipus de caixa pot suportar. Per tant, aquest cas es pot definir com un problema 3D MBSBPP amb limitació màssica.

8. Procediments de resolució del problema

8.1. Mètodes de resolució de problemes combinatoris

Una classificació dels diferents mètodes de resolució que es poden aplicar a l'hora de resoldre un problema com el descrit, pot ser procediments exactes i procediments heurístics.

8.1.1. Procediments exactes

Els procediments exactes d'ús més comú, segons Fernández-Baños (2003), són els següents:

1- Exploració Dirigida o “*branch-and-bound*”

Organitza les solucions en paquets, progressivament més petits i determina per a cada paquet un indicador de la qualitat de les solucions que conté. Aquest indicador permet considerar quins paquets són els més interessants d'explorar. L'exploració consisteix en substituir el paquet per dos o més subpaquets que en conjunt tenen totes les solucions d'aquell.

2- Programació lineal entera (PLE), binària (PLB) o mixta (PLM)

Gairebé la totalitat dels problemes combinatoris admeten una formulació com programes lineals enters o binaris, i especialment com a mixtes. L'inconvenient d'aquest mètode resideix en la gran quantitat de variables que sorgeixen en la majoria dels problemes.

3- Programació dinàmica

En lloc d'enfocar el problema com l'optimització d'una funció global, es resol per etapes en cadascuna de les quals es pot prendre una decisió independent de les decisions considerades anteriorment.

4- Programació dinàmica acotada o “*bounded dynamic programming*” (BDP)

L'estructura és la mateixa que en el procediment anterior. En aquest mètode, es coneix una cota inferior o superior dels elements que s'han d'integrar per passar d'un estat a un

altre. Es compara el millor valor esperat a partir de l'estat considerat amb el d'una solució heurística, cancel·lant els estats que no ofereixen garanties de millora.

8.1.2. Procediments heurístics

Alguns dels motius que poden justificar aquesta incorporació de les tècniques heurístiques a la resolució de problemes d'optimització poden ser: la seva flexibilitat a la hora d'abordar aspectes de complicada modelització; el seu baix cost computacional d'implementació; la possibilitat de donar solucions factibles a problemes en què es desconeix un mètode exacte; la capacitat de subministrar bones solucions inicials al problema que serveixin com a entrada al desenvolupament d'altres procediments...

Pel que fa referència als procediments heurístics, aquests es poden dividir, segons Fernández-Baños (2003), en:

- **Directes (“greedy”)**: Construeixen una solució de forma progressiva per passos.
- **Exploració d'entorns (Metaheurístics)**: A partir de la solució en curs es genera el seu entorn format per solucions veïnes i es tria entre elles una nova solució en curs guardant al llarg del procés la millor solució possible trobada.

Els procediments heurístics directes exigeixen d'una especialització elevada a l'hora d'establir les especificacions concretes d'un problema. Això els fa molt dependents del problema concret al qual s'estan aplicant i dificulta poder establir una classificació completa. Gracia Calandín (2010) proposa la següent classificació de tècniques heurístiques directes:

- **Mètodes de descomposició**: El problema es va separant en problemes més senzills.
- **Mètodes Inductius**: A partir dels casos més simples del problema, s'identifiquen bones tècniques i per inducció es generalitzen al problema complet.
- **Mètodes de Reducció**: Afegeixen noves restriccions al problema de manera que limiten l'espai de solucions.
- **Mètodes Constructius**: Consisteixen a anar afegint elements en cadascuna de les iteracions fins arribar a la solució. A cada iteració es tria l'element que millor rendiment ha obtingut.

- **Mètodes de Cerca Local:** Exploren l'entorn d'una solució original mitjançant operacions anomenades moviments. Busquen les solucions al problema dins de l'entorn de la solució inicial i les avaluen. La millor passa a ser la nova solució. Mentre la solució pugui millorar, l'algorisme contínuu.

La combinació dels mètodes heurístics de cerca local i els constructius constitueixen la base inicial sobre la qual es van desenvolupar alguns mètodes metaheurístics.

Les metaheurístiques estan dissenyades per fer front a problemes complexos d'optimització, on altres mètodes no han pogut ser eficaços o eficients. El principal avantatge de les metaheurístiques radica tant en la seva eficàcia com en la seva aplicabilitat general. Els procediments més utilitzats, segons Fernández-Baños (2003), són els següents:

1- Optimització local (ANED i AED)

En l'algorisme exhaustiu de descens (AED), a partir de la solució en curs, es generen i avaluen tots els seus veïns i si algú és millor que la solució en curs, es pren com a nova solució; en cas contrari, el procediment es dona per acabat.

L'algorisme no exhaustiu de descens (ANED) només es diferencia en què s'avaluen els veïns en un cert ordre.

2- “*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*” (GRASP)

Es construeix una solució factible generalment mitjançant una heurística “*greedy*”. En cada pas, s'estableix una llista de candidats, però en lloc d'escollir el que aporta més, es tria a l'atzar un dels candidats d'una llista restringida. Si la solució obtinguda és millor que la guardada com a tal, s'efectua la substitució.

3- Recuita Simulada (SA)

El nom procedeix de l'analogia entre el procediment i el tractament tèrmic que s'aplica a diversos materials. Donada una solució en curs, s'obté una veïna de la mateixa. Si és millor (o igual), la substitueix com a tal; si és pitjor, pot passar a ser la solució en curs

amb una probabilitat que depèn de la diferència entre el valor de la solució en curs i el de la veïna i que decreix monòtonament al llarg de l'execució de l'algorisme.

4- Cerca Tabú (TS)

Hi ha una llista de propietats de les solucions. Si alguna característica d'una solució coincideix amb algunes de les propietats de la llista és una solució tabú. Es generen tots els veïns de la solució en curs, es classifiquen (en no tabú i tabú) i s'avaluen. Si el valor del millor veí és millor que el de la millor solució trobada, substitueix a aquesta i a la solució en curs i es buida la llista tabú. En cas contrari, la millor solució no tabú passa a ser la solució en curs i s'introdueix una característica de l'antiga solució a la llista tabú.

5- Algorismes Genètics

Aquest procediment es basa en les idees de la selecció natural. En lloc d'una solució en curs s'arrossegueu diverses (població). Es seleccionen els pares, es creuen i/o muten i s'obtenen els fills regenerant la població inicial.

6- “*Ant Colony Optimization*” (ACO)

El comportament col·lectiu d'una colònia de formigues ha servit per inspirar aquesta nova tècnica. El mètode consisteix a simular la comunicació directa que utilitzen les formigues, insectes gairebé cecs, per establir el camí més curt des del seu niu fins la font d'aliment i tornar.

8.2. Procediments de selecció

En qualsevol algorisme que tracti de resoldre un problema del tipus BPP, problema exposat amb anterioritat en el capítol 7, sempre hi haurà algun punt en què s'haurà de prendre la decisió d'en quin contenidor s'han de col·locar els articles escollits en aquell moment. Per aquest propòsit s'han triat algunes regles que ajuden a prendre aquestes decisions, extretes de Moreno et al. (2002). Depenent del cas i de l'objectiu final, algunes regles donaran millors resultats que altres.

- **“First Fit”**: Col·loca un nou article en el primer contenidor que troba amb prou espai.
- **“Last Fit”**: Col·loca un nou article en l’últim contenidor que troba amb suficient espai. És la inversa del “First Fit”.
- **“Best Fit”**: Col·loca un nou article en el contenidor que estigui més complet de tots contenidor, i que hi càpiga dins.
- **“Worst Fit”**: Col·loca un nou article en el contenidor, que és el més buit dels contenidors en que l'article hi cap.
- **“Next Fit”**: Obre un contenidor i col·loca els articles en l'ordre en què apareixen a la llista. Si un element de la llista no hi cap en el contenidor obert, es tanca de manera permanent i s'obre un de nou per continuar empaquetant els articles restants de la llista. És molt simple i ràpid i permet que els contenidors siguin enviats ràpidament.

En tots els casos anteriors, si no hi hagués cap contenidor disponible on col·locar l'element, s'obriria un de nou. A més, com les decisions que es prenen no tenen en compte quin article s'escull, se'ls pot incorporar una prèvia ordenació d'aquests perquè s'agafi el desitjat. Aquesta ordenació es pot fer segons qualsevol dels paràmetres dels articles (generalment volum o pes) i, quan es realitza de major a menor, a les regles anteriors se'ls afegeix la paraula “*Decreasing*”. Les més comunes que utilitzen aquesta característica acostumen a ser la primera i la tercera, i s'anomenen “*First Fit Decreasing*” i “*Best Fit Decreasing*”.

9. Procediments i algorismes proposats per a la resolució del cas 3D MBSBPP amb limitació massica

Un cop estudiat el cas en el que es centra aquest projecte i la seva problemàtica (capítol 5), el següent pas és trobar un algorisme tipus que s'ajusti als requeriments exposats i proporcioni uns bons resultats. Primerament es llistaran els paràmetres a utilitzar (secció 9.1.), a continuació (secció 9.2), s'exposaran tres procediments bàsics (subseccions 9.2.1., 9.2.2. i 9.2.3.) que seran utilitzats posteriorment en els algorismes (secció 9.3.).

9.1. Paràmetres

Prèviament a la cerca d'una solució pel cas que es tracta en aquest treball és necessari definir els paràmetres dels elements que intervenen, i que s'utilitzaran durant tot el procés de resolució.

Els paràmetres a considerar en aquest cas, per a un nombre arbitrari n de caixes ($i = 1, \dots, n$) de tots els tipus (S01, S02, S03 i S04) i m tipus d'articles ($j = 1, \dots, m$), són els següents:

- Amplada de la caixa i : $U_i \quad i \in \{1, \dots, n\}$
- Profunditat de la caixa i : $V_i \quad i \in \{1, \dots, n\}$
- Altura de la caixa i : $W_i \quad i \in \{1, \dots, n\}$
- Capacitat massica de la caixa i : $CM_i \quad i \in \{1, \dots, n\}$

- Amplada de l'article j : $x_j \quad j \in \{1, \dots, m\}$
- Profunditat de l'article j : $y_j \quad j \in \{1, \dots, m\}$
- Altura de l'article j : $z_j \quad j \in \{1, \dots, m\}$
- Quantitat de l'article j : $K_j \quad j \in \{1, \dots, m\}$
- Massa del article j : $M_j \quad j \in \{1, \dots, m\}$

Un cop exposats els paràmetres del cas, podem trobar altres paràmetres que són conseqüència d'aquests mitjançant les equacions 9.1., 9.2., 9.3., 9.4. i 9.5.

- Volum contenidor i : $CV_i = U_i * V_i * W_i \quad i \in \{1, \dots, n\}$ Eq. 9.1.

- Volum article j : $v_j = x_j * y_j * z_j \quad j \in \{1, \dots, m\}$ Eq. 9.2.

- Nombre total d'articles : $T = \sum_{j=1}^m K_j$ Eq. 9.3.

- Volum total d'articles : $V_{articles} = \sum_{j=1}^m K_j * V_j$ Eq. 9.4.

- Massa total d'articles : $M_{articles} = \sum_{j=1}^m K_j * M_j$ Eq. 9.5.

9.2. Procediments bàsics

Els procediments són una sèrie de càlculs dissenyats perquè, combinats amb uns processos i iteracions que realitzen els algorismes, es pugui determinar quants articles i de quin tipus s'han de col·locar en cada caixa per realitzar l'empaquetat. Abans de començar amb els procediments, és necessari comentar que l'algorisme es basa en analitzar espais buits ortogonals que contenen les caixes, on s'han de col·locar els articles. L'espai buit inicial de cada caixa és la caixa sencera.

Aquests espais ortogonals sempre mantindran la mateixa orientació que la caixa, i s'utilitzarà la nomenclatura següent per referir-se als paràmetres d'aquests, :

- Nombre d'espais creats, en un moment determinat de l'algorisme, de la caixa i : p

- Amplada de l'espai t de la caixa i : $u_{ti} \quad t \in \{1, \dots, p\}, i \in \{1, \dots, n\}$

(paral·lela a l'amplada U_i de la caixa i)

- Profunditat de l'espai t de la caixa i : $v_{ti} \quad t \in \{1, \dots, p\}, i \in \{1, \dots, n\}$

(paral·lela a la profunditat V_i de la caixa i)



- Alçada de l'espai t de la caixa i : w_{it} $t \in \{1, \dots, p\}$, $i \in \{1, \dots, n\}$
(paral·lela a l'alçada W_i de la caixa i)

Ara es podrà calcular el volum de l'espai t de la caixa i , a partir dels paràmetres anteriors:

- Alçada de l'espai t de la caixa : $cv_{it} = u_{it} * v_{it} * w_{it}$ $t \in \{1, \dots, p\}$, $i \in \{1, \dots, n\}$ Eq. 9.6.

9.2.1. Procediment 1: un sol tipus d'article, un espai

Aquest procediment serveix per determinar el nombre màxim d'articles d'un sol tipus j que hi caben en un espai t , en una posició determinada, i l'espai ocupat per la col·locació d'aquests articles en la posició escollida. Consta de tres parts necessàries per obtenir els resultats desitjats.

9.2.1.1 Determinació del nombre màxim d'articles d'un sol tipus j que hi caben en un espai t , en una posició determinada

Com no hi ha cap restricció sobre l'orientació dels articles, aquests es poden col·locar de sis formes diferents en una cantonada d'un espai ortogonal qualsevol. La funció d'aquest procediment és trobar de quina de les sis formes hi caben més articles d'un sol tipus (figura 9.1.) dins de l'espai determinat (figura 9.2.). El procediment procedeix de la següent forma:

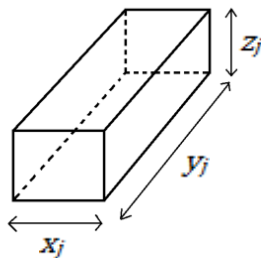


Figura 9.1. – Article j (font: elaboració pròpia)

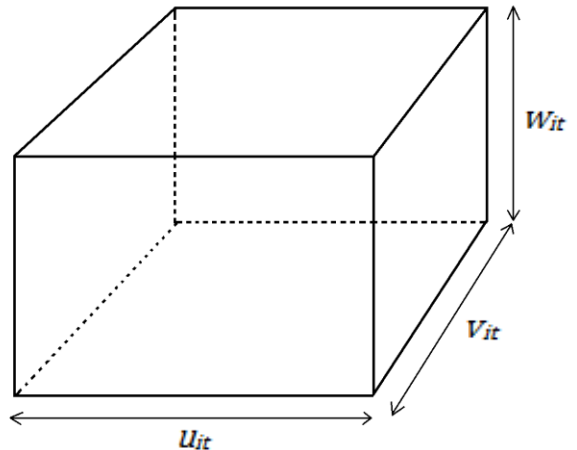


Figura 9.2. – Espai t (font: elaboració pròpia)

Es representa el sencer inferior mitjançant l'expressió "Int".

$$P1 = \underline{\text{Int}} (u_{it} / x_j) * \underline{\text{Int}} (v_{ti} / y_j) * \underline{\text{Int}} (w_{it} / z_j) \quad \text{Eq. 9.7.}$$

$$P2 = \underline{\text{Int}} (u_{it} / y_j) * \underline{\text{Int}} (v_{ti} / x_j) * \underline{\text{Int}} (w_{it} / z_j) \quad \text{Eq. 9.8.}$$

$$P3 = \underline{\text{Int}} (u_{it} / z_j) * \underline{\text{Int}} (v_{ti} / y_j) * \underline{\text{Int}} (w_{it} / x_j) \quad \text{Eq. 9.9.}$$

$$P4 = \underline{\text{Int}} (u_{it} / x_j) * \underline{\text{Int}} (v_{ti} / z_j) * \underline{\text{Int}} (w_{it} / y_j) \quad \text{Eq. 9.10.}$$

$$P5 = \underline{\text{Int}} (u_{it} / y_j) * \underline{\text{Int}} (v_{ti} / z_j) * \underline{\text{Int}} (w_{it} / x_j) \quad \text{Eq. 9.11.}$$

$$P6 = \underline{\text{Int}} (u_{it} / z_j) * \underline{\text{Int}} (v_{ti} / x_j) * \underline{\text{Int}} (w_{it} / y_j) \quad \text{Eq. 9.12.}$$

$$\text{MaxP} = \text{MAX} (P1, P2, P3, P4, P5, P6) \quad \text{Eq. 9.13.}$$

Aquest procediment realitza una sèrie de 6 càlculs (eq. 9.7. a 9.13.). Cada càlcul té assignada una orientació de col·locació dels articles i un espai (aquest és comú per a tots els càlculs). D'aquesta forma, cada operació permet determinar la quantitat d'articles que hi caben en un espai determinat i amb una certa orientació. Aquesta determinació es du a terme comparant, mitjançant una divisió, les dimensions dels costats de l'article amb les dels costats de l'espai que els hi pertoca per a cada orientació. Tot i això, després de fer cada comparació dels costats, només s'haurà de tenir en compte el nombre sencer inferior del resultat de la divisió, ja que, com els articles es contenen per unitats, no s'han de tenir en compte els decimals. Així es pot saber el nombre d'articles que hi caben en cada dimensió i, fent el producte de les tres dimensions, s'obté la quantitat d'articles que hi caben a l'espai.

9.2.1.2 Escollir opció i reordenar les coordenades d'un tipus d'article

Un cop definit MaxP, s'escull l'opció desitjada, de les 6 anteriors, i es realitza una reordenació de les coordenades dels articles segons l'opció escollida. Sempre es triarà la primera opció que es trobi que permeti col·locar el MaxP nombre d'articles en l'espai. La reordenació de les coordenades dels articles es realitza per tal que la coordenada u_{it} sempre coincideixi amb la coordenada x_j , que la coordenada v_{ti} coincideixi amb la y_j , i que la coordenada w_{it} coincideixi amb la z_j . Aquesta reordenació serà necessària quan posteriorment s'hagi de calcular l'espai que ocupen els MaxP articles. Les decisions i els passos necessaris per realitzar aquesta part segueixen l'esquema de la figura 9.3.

Si P1 = MaxP

Escollir opció P1

Altrament, Si P2 = MaxP

Escollir opció P2

$$x_j = y_j$$

$$y_j = x_j$$

Altrament, Si P3 = MaxP

Escollir opció P3

$$x_j = z_j$$

$$z_j = x_j$$

Altrament, Si P4 = MaxP

Escollir opció P4

$$y_j = z_j$$

$$z_j = y_j$$

Altrament, Si P5 = MaxP

Escollir opció P5

$$x_j = y_j$$

$$y_j = z_j$$

$$z_j = x_j$$

Altrament, Si P6 = MaxP

Escollir opció P6

$$x_j = z_j$$

$$y_j = x_j$$

$$z_j = y_j$$

Fi Si

Figura 9.3. – Esquema part 2 del *Procediment 1*

Com es pot veure, en el moment en què l'article es troba en una posició que permet col·locar MaxP articles, el procediment s'atura, es queda amb aquesta posició i realitza la reordenació necessària de les coordenades. Si hi ha alguna coordenada que no es modifica significa que ja coincidia amb el coordenada de l'espai de forma desitjada. Per exemple, en la posició P1 no es realitza cap canvi ja que totes les coordenades coincideixen.

9.2.1.3 Determinar l'espai ocupat

Aquesta última part del *Procediment 1* determina l'espai ocupat per la col·locació dels MaxP articles en la posició escollida, de les 6 possibles. Per fer-ho, es calcula l'amplada (Eq. 9.14.), la profunditat (Eq. 9.15.) i l'alçada (Eq. 9.16.) del bloc que formen els articles. És necessari haver realitzat prèviament la reordenació de coordenades dels articles ja que, si no es fes, podria no coincidir el costat desitjat de l'article amb el de la caixa, i l'espai ocupat que es crearia no seria el real.

- Espai ocupat:

- $u' = \text{Int} (u_{it} / x_j) * x_j$ Eq. 9.14.

- $v' = \text{Int} (v_{ti} / y_j) * y_j$ Eq. 9.15.

- $w' = \text{Int} (w_{it} / z_j) * z_j$ Eq. 9.16.

$$\text{MaxP_EspaiOcupat} = [u' , v' , w']$$

El *Procediment 1* per si sol no té perquè apropar-se sempre a l'òptim. No obstant, sí que compleix la condició de que no s'excedeixi ni el volum ni les dimensions del contenidor. És molt útil quan l'ompliment de la caixa es fa amb un sol tipus d'article. En el cas que hi hagin diferents articles, aquest procediment s'ha de combinar amb d'altres per arribar a una bona solució.

9.2.2. Procediment 2: un sol tipus d'article, un espai, nombre d'articles inferior a MaxP

Aquest procediment només avalua un tipus d'article a la vegada però és útil en el cas que la mostra d'articles de l'algorisme que l'utilitzi en contingui de diferents tipus. Serveix per quan el nombre d'articles que resten del tipus seleccionat és inferior al nombre màxim que permet col·locar el *Procediment 1* (MaxP) en un espai i posició determinada. Si no s'utilitzés aquest procediment es desaprofitaria molt espai que ha estat omplert pel *Procediment 1*, tot i que en realitat està buit.

Es tracta d'anar col·locant cada article restant del tipus escollit de forma separada però construint el bloc que crea el *Procediment 1*. Com no hi haurà prous articles per acabar el bloc, ja que es necessitarien MaxP, s'atura quan ja no queden més articles que col·locar i es determina l'espai ortogonal ocupat pels articles en aquell moment (figura 9.4.). Posteriorment es mira si hi ha alguna zona que ha quedat buida, per la falta d'articles, dins de l'espai ortogonal ocupat. Si es troba alguna, es considerarà com un espai buit que pot ser utilitzat en les següents iteracions de l'algorisme per introduir articles d'altres tipus.

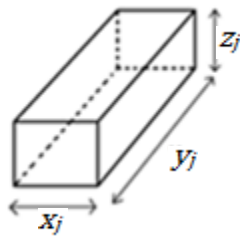


Fig. 9.3. - Article j (font: elaboració pròpia)

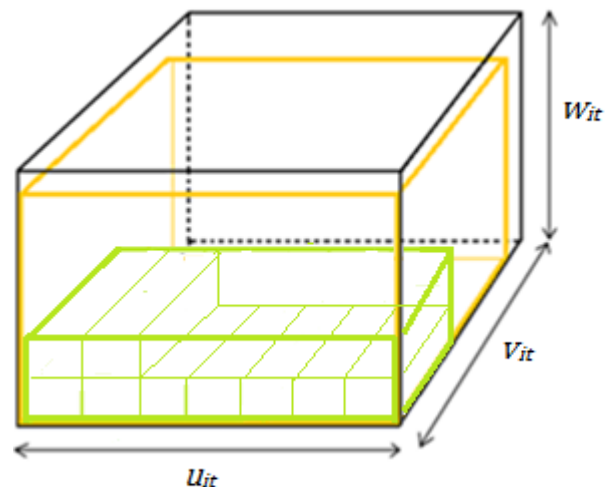


Fig. 9.4. – Espai t , MaxP_EspaiOcupat i Espai Ort. Ocupat pels articles j restants (font: elaboració pròpia)

En aquest procediment, la construcció del bloc amb els articles tipus j que resten es pot dur a terme de quatre formes diferents; dues si es vol construir creant capes horitzontals i dues més si es vol fer creant capes verticals. Per aquest motiu, s'han creat quatre variants d'aquest procediment segons la forma de construcció del bloc. Les variants són les següents:

- **Variant 2.1.** - Creació del bloc formant capes horitzontals (costat $u_{it} - v_{ti}$) a partir de col·locar files d'articles que segueixen la direcció u_{it} .
- **Variant 2.2.** - Creació del bloc formant capes horitzontals (costat $u_{it} - v_{ti}$) a partir de col·locar files d'articles que segueixen la direcció v_{ti} .
- **Variant 2.3.** – Creació del bloc formant capes verticals d'articles en el costat $u_{it} - w_{it}$ de la caixa a partir de col·locar columnes d'aquests.
- **Variant 2.4.** - Creació del bloc formant capes verticals d'articles en el costat $v_{ti} - w_{it}$ de la caixa a partir de col·locar columnes d'aquests.

El procediment consta de tres parts necessàries per obtenir els resultats desitjats. Abans d'explicar-les és necessari presentar uns paràmetres que s'utilitzen posteriorment. Les equacions 9.17., 9.18. i 9.19. indiquen el nombre nombre màxim de unitats de l'article j que es poden col·locar al llarg de cada una de les dimensions, u_{it} , v_{ti} i w_{it} , de l'espai t respectivament.

1. $N_0 = n^\circ$ d'articles j restants
2. $N_1 = \underline{\text{Int}} (u_{it} / x_j) = n^\circ$ màxim d'articles j en u_{it} Eq. 9.17.
3. $N_2 = \underline{\text{Int}} (v_{ti} / y_j) = n^\circ$ màxim d'articles j en v_{ti} Eq. 9.18.
4. $N_3 = \underline{\text{Int}} (w_{it} / z_j) = n^\circ$ màxim d'articles j en w_{it} Eq. 9.19.

9.2.2.1 Determinar l'espai ortogonal ocupat

Com s'ha comentat amb anterioritat, hi haurà quatre variants on cadascuna construirà el bloc format pels articles de formes diferents i, per tant, es pot arribar a determinar espais ortogonals diferents en cada cas. Les següents figures (de la 9.5. a la 9.8.) mostren l'esquema dels passos i càlculs que s'efectuen en cada variant.



Inici variant 2.1. – Determinar espai ortogonal ocupat

Si $\frac{N_0}{N_1} \leq 1$ (es forma, com a màxim, una fila d'articles)

$$u' = x_j * N_0$$

$$v' = y_j$$

$$w' = z_j$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_1} > 1$ i $\frac{N_0}{N_1 * N_2} < 1$ (es forma més d'una fila però no s'arriba a una capa)

$$u' = x_j * N_1$$

$$v' = \underline{\text{Int}} \left(\frac{N_0}{N_1} + 0,99 \right) * y_j$$

$$w' = z_j$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_1} > 1$ i $\frac{N_0}{N_1 * N_2} = 1$ (es forma una capa justa)

$$u' = x_j * N_1$$

$$v' = y_j * N_2$$

$$w' = z_j$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_1} > 1$ i $\frac{N_0}{N_1 * N_2} > 1$ (es forma més d'una capa)

$$u' = x_j * N_1$$

$$v' = y_j * N_2$$

$$w' = \underline{\text{Int}} \left(\frac{N_0}{N_1 * N_2} + 0,99 \right) * z_j$$

Fi Si

Espai ortogonal ocupat = [u', v', w']

Fi variant 2.1.

Figura 9.5. – Variant 2.1. Determinar espai ortogonal ocupat (font: elaboració pròpia)

Inici variant 2.2. – Determinar espai ortogonal ocupat

Si $\frac{N_0}{N_2} \leq 1$ (es forma, com a màxim, una fila d'articles)

$$u' = x_j$$

$$v' = y_j * N_0$$

$$w' = z_j$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_2} > 1$ i $\frac{N_0}{N_1 * N_2} < 1$ (es forma més d'una fila però no s'arriba a una capa)

$$u' = \text{Int} \left(\frac{N_0}{N_2} + 0,99 \right) * x_j$$

$$v' = y_j * N_2$$

$$w' = z_j$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_2} > 1$ i $\frac{N_0}{N_1 * N_2} = 1$ (es forma una capa justa)

$$u' = x_j * N_1$$

$$v' = y_j * N_2$$

$$w' = z_j$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_1 * N_2} > 1$ (es forma més d'una capa)

$$u' = x_j * N_1$$

$$v' = y_j * N_2$$

$$w' = \text{Int} \left(\frac{N_0}{N_1 * N_2} + 0,99 \right) * z_j$$

Fi Si

Espai ortogonal ocupat = [u', v', w']

Fi variant 2.2.

Figura 9.6. – Variant 2.2. Determinar espai ortogonal ocupat (font: elaboració pròpia)



Inici variant 2.3. – Determinar espai ortogonal ocupat

Si $\frac{N_0}{N_3} \leq 1$ (es forma, com a màxim, una columna d'articles)

$$u' = x_j$$

$$v' = y_j$$

$$w' = z_j * N_0$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_3} > 1$ i $\frac{N_0}{N_1 * N_3} < 1$ (es forma més d'una columna però no s'arriba a una capa)

$$u' = \text{Int} \left(\frac{N_0}{N_3} + 0,99 \right) * x_j$$

$$v' = y_j$$

$$w' = z_j * N_3$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_3} > 1$ i $\frac{N_0}{N_1 * N_3} = 1$ (es forma una capa justa)

$$u' = x_j * N_1$$

$$v' = y_j$$

$$w' = z_j * N_3$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_1 * N_3} > 1$ (es forma més d'una capa)

$$u' = x_j * N_1$$

$$v' = \text{Int} \left(\frac{N_0}{N_1 * N_3} + 0,99 \right) * y_j$$

$$w' = z_j * N_3$$

Fi Si

Espai ortogonal ocupat = [u', v', w']

Fi variant 2.3.

Figura 9.7. – Variant 2.3. Determinar espai ortogonal ocupat (font: elaboració pròpia)

Inici variant 2.4. – Determinar espai ortogonal ocupat

Si $\frac{N_0}{N_3} \leq 1$ (es forma, com a màxim, una columna d'articles)

$$u' = x_j$$

$$v' = y_j$$

$$w' = z_j * N_0$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_3} > 1$ i $\frac{N_0}{N_2 * N_3} < 1$ (es forma més d'una columna però no s'arriba a una capa)

$$u' = x_j$$

$$v' = \text{Int} \left(\frac{N_0}{N_3} + 0,99 \right) * y_j$$

$$w' = z_j * N_3$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_3} > 1$ i $\frac{N_0}{N_2 * N_3} = 1$ (es forma una capa justa)

$$u' = x_j$$

$$v' = y_j * N_2$$

$$w' = z_j * N_3$$

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_2 * N_3} > 1$ (es forma més d'una capa)

$$u' = \text{Int} \left(\frac{N_0}{N_2 * N_3} + 0,99 \right) * x_j$$

$$v' = y_j * N_2$$

$$w' = z_j * N_3$$

Fi Si

Espai ortogonal utilitzat = [u' , v' , w']

Fi variant 2.4.

Figura 9.8. – Variant 2.4. Determinar espai ortogonal ocupat (font: elaboració pròpia)

9.2.2.2 Determinar el nombre d'espais buits dins l'espai ortogonal

Un cop s'ha creat l'espai ortogonal, és molt probable que aquest no s'hagi acabat d'omplir per falta d'articles, com passa a la figura 9.4. Aquesta part del *Procediment 2* determina el nombre d'articles que farien falta per acabar d'omplir l'espai ortogonal. Com en les quatre variants s'hauran introduït tots els articles restants (N0), aquest procés utilitzarà la mateixa equació per les quatre ja que es calcula el volum que ha quedat buit dins de l'espai ortogonal i, posteriorment, es divideix pel volum de l'article j (eq. 9.20.).

$$\text{- Nombre de buits en l'espai ortogonal ocupat: NBuits} = \frac{(\mathbf{u}' * \mathbf{v}' * \mathbf{w}') - (x_j * y_j * z_j * N0)}{x_j * y_j * z_j} \quad \text{Eq. 9.20.}$$

9.2.2.3 Unir els espais buits

En aquest últim pas del procediment s'uneixen els espais buits possibles formant el mínim nombre d'espais buits. Això permetrà tenir uns espais buits més aprofitables a l'hora de ser utilitzats per col·locar altres articles. En aquesta part, la creació d'aquests espais sí que depèn de la variant utilitzada durant aquest procediment. Les següents figures (de la 9.9. a la 9.12.) mostren l'esquema dels passos i càlculs que s'efectuen en cada variant. Es pot veure que depenent del bloc que hi hagi format dins de l'espai ortogonal ocupat, la determinació dels espais buits resultants serà diferent. En tots els casos de totes les variants es podrà unificar tots els espais buits en un de sol, excepte en el cas que el bloc tingui més d'una capa i l'última fila o columna de la capa externa no estigui completa. En aquest darrer cas, s'haurà de crear un espai per completar la fila o columna, i un altre per completar la capa externa.

Inici variant 2.1. – Unir espais buits

Si $\frac{N_0}{N_1} \leq 1$ (es forma, com a màxim, una fila d'articles)

Espai buit = $[NBuits * x_j, y_j, z_j]$ (completa la fila)

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_1} > 1$ i $\frac{N_0}{N_1 * N_2} < 1$ (hi ha més d'una fila però no s'arriba a una capa)

Espai buit = $[NBuits * x_j, y_j, z_j]$ (completa l'última fila)

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_1} > 1$ i $\frac{N_0}{N_1 * N_2} > 1$ (hi ha més d'una capa)

Si $\underline{\text{Int}}\left(\frac{N_0}{N_1 * N_2}\right) < \frac{N_0}{N_1 * N_2}$ (la capa superior no està completa)

Si $\underline{\text{Int}}\left(\frac{NBuits}{N_1}\right) = \frac{NBuits}{N_1}$ (no hi ha files incompletes en la capa superior)

Espai buit = $[N_1, \frac{NBuits}{N_1} * y_j, z_j]$ (completa la capa superior)

Altrament, Si $\underline{\text{Int}}\left(\frac{NBuits}{N_1}\right) < \frac{NBuits}{N_1}$ (hi ha files incompletes en la capa superior)

Espai buit 1 = $\left[\left(\frac{NBuits}{N_1} - \underline{\text{Int}}\left(\frac{NBuits}{N_1}\right)\right) * N_1, y_j, z_j\right]$ (completa la fila)

Espai buit 2 = $[N_1, \underline{\text{Int}}\left(\frac{NBuits}{N_1}\right) * y_j, z_j]$ (completa la capa superior)

Fi Si

Fi Si

Fi Si

Fi variant 2.1.

Figura 9.9. – Variant 2.1. Unir espais buits (font: elaboració pròpia)

Inici variant 2.2. – Unir espais buits

Si $\frac{N_0}{N_2} < 1$ (no s'arriba a formar una fila d'articles)

Espai buit = $[x_j, NBuits * y_j, z_j]$ (completa la fila)

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_2} > 1$ i $\frac{N_0}{N_1 * N_2} < 1$ (hi ha més d'una fila però no s'arriba a una capa)

Espai buit = $[x_j, NBuits * y_j, z_j]$ (completa l'última fila)

Altrament, Si $\frac{N_0}{N_2} > 1$ i $\frac{N_0}{N_1 * N_2} > 1$ (hi ha més d'una capa)

Si $\left(\frac{N_0}{N_1 * N_2}\right) < \frac{NBuits}{N_2}$ (la capa superior no està completa)

Si $\text{Int}\left(\frac{NBuits}{N_2}\right) = \frac{NBuits}{N_2}$ (no hi ha files incompletes en la capa superior)

Espai buit = $\left[\frac{NBuits}{N_2} * x_j, N_2, z_j\right]$ (completa la capa superior)

Altrament, Si $\text{Int}\left(\frac{NBuits}{N_2}\right) < \frac{NBuits}{N_2}$ (hi ha files incompletes en la capa superior)

Espai buit 1 = $\left[x_j, \left(\frac{NBuits}{N_2} - \text{Int}\left(\frac{NBuits}{N_2}\right)\right) * N_2, z_j\right]$ (completa la fila)

Espai buit 2 = $\left[\text{Int}\left(\frac{NBuits}{N_2}\right) * x_j, N_2, z_j\right]$ (completa la capa superior)

Fi Si

Fi Si

Fi Si

Fi variant 2.2.

Figura 9.10. – Variant 2.2. Unir espais buits (font: elaboració pròpia)

Inici variant 2.3. – Unir espais buits

Si $\frac{N0}{N3} < 1$ (no s'arriba a formar una columna d'articles)

Espai buit = $[x_j, y_j, NBuits * z_j]$ (completa la columna)

Altrament, Si $\frac{N0}{N3} > 1$ i $\frac{N0}{N1 * N3} < 1$ (hi ha més d'una columna però no s'arriba a una capa)

Espai buit = $[x_j, y_j, NBuits * z_j]$ (completa l'última columna)

Altrament, Si $\frac{N0}{N3} > 1$ i $\frac{N0}{N1 * N3} > 1$ (hi ha més d'una capa)

Si $\text{Int}\left(\frac{N0}{N1 * N3}\right) < \frac{N0}{N1 * N3}$ (la capa externa no està completa)

Si $\text{Int}\left(\frac{NBuits}{N3}\right) = \frac{NBuits}{N3}$ (no hi ha columnes incompletes en la capa superior)

Espai buit = $\left[\frac{NBuits}{N3} * x_j, y_j, N3\right]$ (completa la capa externa)

Altrament, Si $\text{Int}\left(\frac{NBuits}{N3}\right) < \frac{NBuits}{N3}$ (hi ha col. incompletes en la capa externa)

Espai buit 1 = $[x_j, y_j, \left(\frac{NBuits}{N3} - \text{Int}\left(\frac{NBuits}{N3}\right)\right) * N3]$ (completa la col.)

Espai buit 2 = $\left[\text{Int}\left(\frac{NBuits}{N3}\right) * x_j, y_j, N3\right]$ (completa la capa externa)

Fi Si

Fi Si

Fi Si

Fi variant 2.3.

Figura 9.11. – Variant 2.1. Unir espais buits (font: elaboració pròpia)

Inici variant 2.4. – Unir espais buits

Si $\frac{N0}{N3} < 1$ (no s'arriba a formar una columna d'articles)

Espai buit = $[x_j, y_j, NBuits * z_j]$ (completa la columna)

Altrament, Si $\frac{N0}{N3} > 1$ i $\frac{N0}{N2 * N3} < 1$ (hi ha més d'una columna però no s'arriba a una capa)

Espai buit = $[x_j, y_j, NBuits * z_j]$ (completa l'última columna)

Altrament, Si $\frac{N0}{N3} > 1$ i $\frac{N0}{N2 * N3} > 1$ (hi ha més d'una capa)

Si $\text{Int}\left(\frac{N0}{N2 * N3}\right) < \frac{N0}{N2 * N3}$ (la capa externa no està completa)

Si $\text{Int}\left(\frac{NBuits}{N3}\right) = \frac{NBuits}{N3}$ (no hi ha columnes incompletes en la capa externa)

Espai buit = $[x_j, \frac{NBuits}{N1} * y_j, N3]$ (completa la capa externa)

Altrament, Si $\text{Int}\left(\frac{NBuits}{N3}\right) < \frac{NBuits}{N3}$ (hi ha col. incompletes en la capa externa)

Espai buit 1 = $[x_j, y_j, \left(\frac{NBuits}{N3} - \text{Int}\left(\frac{NBuits}{N3}\right)\right) * N3]$ (completa la col.)

Espai buit 2 = $[x_j, \text{Int}\left(\frac{NBuits}{N3}\right) * y_j, N3]$ (completa la capa externa)

Fi Si

Fi Si

Fi Si

Fi variant 2.1

Figura 9.12. – Variant 2.4. Unir espais buits (font: elaboració pròpia)

9.2.3. Procediment 3: determinació dels espais buits generats a partir de les zones buides d'un espai determinat

Per buscar l'aprofitament màxim de les caixes és necessari mirar d'utilitzar les zones buides que s'han creat al col·locar els articles. El *Procediment 3* identifica aquestes zones i les separa en espais diferents, de forma que quedin ortogonals perquè puguin ser aprofitats. Aquest procediment és un complement dels anteriors, molt útil quan l'espai ocupat per un bloc d'articles, en un espai t determinat, és considerablement menor a aquest (figura 9.14).

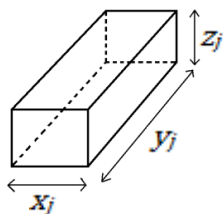


Fig. 9.13. - Article j
(font: elaboració pròpia)

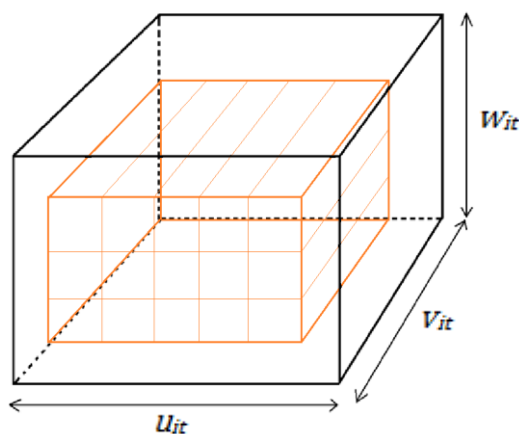


Fig. 9.14. – Espai t amb espai ocupat
(font: elaboració pròpia)

Abans d'explicar el procediment, s'han de mostrar dues zones de solapament que sorgeixen al dividir les zones buides, i quines possibilitats hi ha per resoldre aquest conflicte. A la figura 9.15. es mostren els dos alçats (davanter i posterior) i els dos perfils (dret i esquerra) de l'espai t de la figura 9.14, amb un espai ocupat per un bloc d'articles (E), tres zones buides (B, C i D) i les dues zones de solapament (A i A') esmentades. Les figures superiors corresponen al perfil dret i a l'alçat davanter respectivament, mentre que a les inferiors es troben el perfil esquerra i l'alçat posterior.

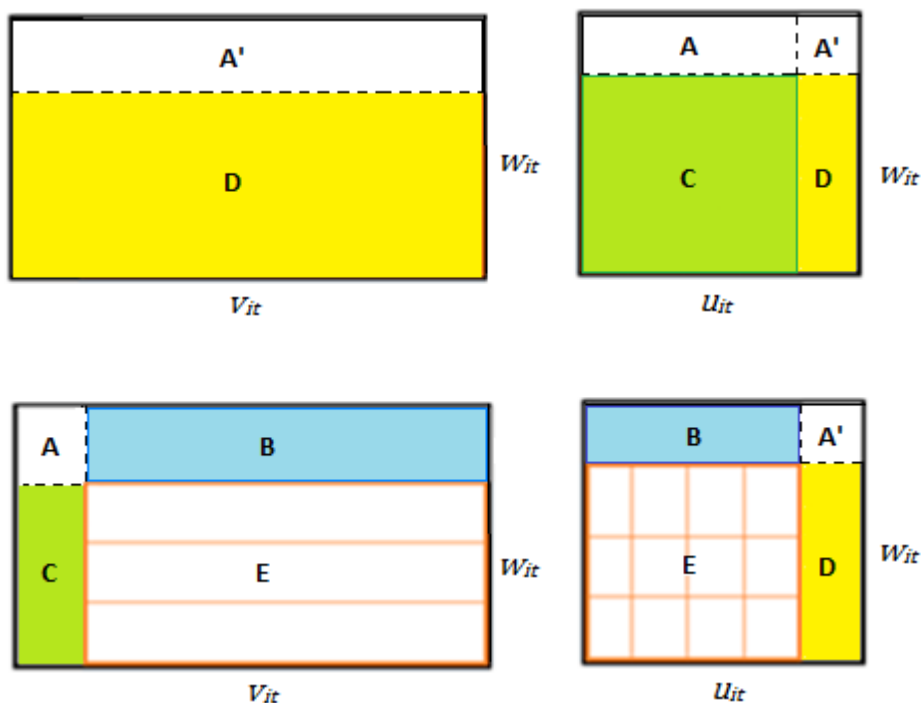


Figura 9.15. – Vistes espai t amb les zones delimitades (font: elaboració pròpia)

Les possibilitats escollides per resoldre aquest solapament són les següents:

- Unir $B+A+A'$: en aquest cas s'estarà maximitzant l'espai superior
- Unir $C+A$ i $D+A'$: aquesta segona opció maximitzarà els espais laterals.

En aquest procediment, depenent del que interressi maximitzar es realitzaran uns càlculs o uns altres. Per aquest motiu, s'han creat dues variants depenent de quins espais es maximitzin. La primera variant (3.1.) uneix $B+A+A'$, mentre que la segona (3.2.) uneix $C+A$ i $D+A'$.

A priori no es podrà saber quina serà la millor opció. Per això, s'haurà de decidir si fixar alguna de les opcions i que l'algorisme sigui purament constructiu, o prendre la decisió a posteriori. El darrer cas faria que l'algorisme utilitzés un mètode de resolució de cerca local, amb unes millors solucions però amb un nombre més elevat d'operacions que faria augmentar el temps de resolució.

9.2.3.1. Variant 3.1.: maximitzar espai superior (cas B+A+A')

En aquest punt es crearan i es determinaran les dimensions dels espais buits, mostrats en la figura 9.15., seguint el criteri de maximitzar l'espai superior (B+A+A').

Espai B+A+A'

$$u_1 = U_{it} \tag{Eq. 9.20}$$

$$v_1 = V_{ti} \tag{Eq. 9.21}$$

$$w_1 = W_{it} - w' \tag{Eq. 9.22}$$

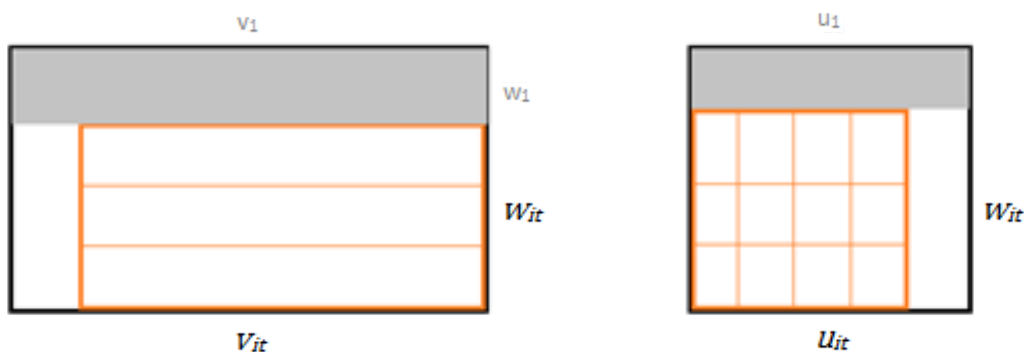


Figura 9.8 – Creació espai B+A+A' (font: elaboració pròpia)

Espai C

$$u_2 = u' \tag{Eq. 9.23}$$

$$v_2 = V_{ti} - v' \tag{Eq. 9.24}$$

$$w_2 = w' \tag{Eq. 9.25}$$

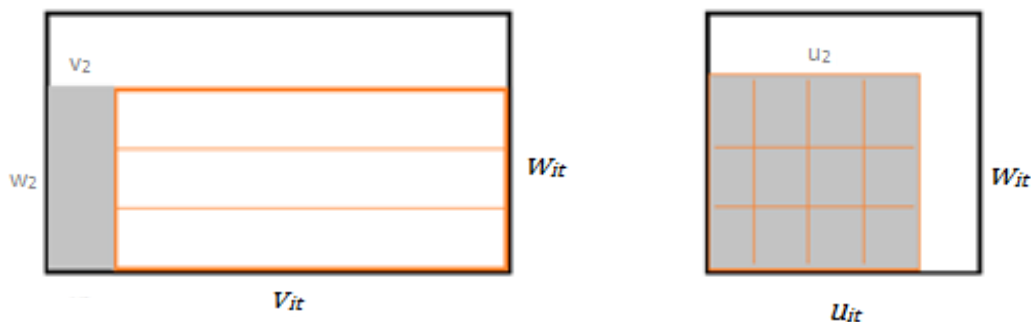


Figura 9.13 – Creació espai C (font: elaboració pròpia)

Espai D

$$u_3 = U_{it} - u' \quad \text{Eq. 9.26}$$

$$v_3 = V_{ti} \quad \text{Eq. 9.27}$$

$$w_3 = w' \quad \text{Eq. 9.28}$$

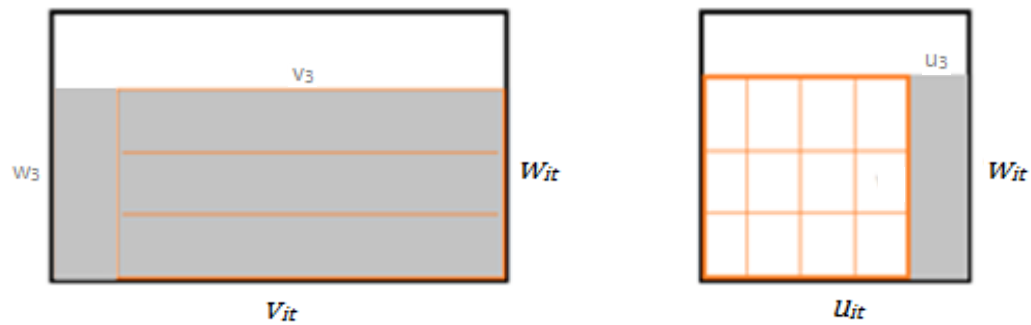


Figura 9.14 – Creació espai D (font: elaboració pròpia)

9.2.3.2. Variant 3.2.: maximitzar els espais laterals (cas C+A i D+A')

En aquest segon punt es crearan i es determinaran les dimensions dels espais buits, mostrats en la figura 9.15., seguint el criteri de maximitzar els espais laterals (C+A i D+A').

Espai B

$$u_1 = u' \quad \text{Eq. 9.29}$$

$$v_1 = v' \quad \text{Eq. 9.30}$$

$$w_1 = W_{it} - w' \quad \text{Eq. 9.31}$$



Figura 9.8 – Creació espai B (font: elaboració pròpia)

Espai C+A

$$u_2 = u' \tag{Eq. 9.32}$$

$$v_2 = V_{ti} - v' \tag{Eq. 9.33}$$

$$w_2 = W_{it} \tag{Eq. 9.34}$$



Figura 9.9 – Creació espai C+A (font: elaboració pròpia)

Espai D+A'

$$u_3 = U_{it} - u' \tag{Eq. 9.35}$$

$$v_3 = V_{ti} \tag{Eq. 9.36}$$

$$w_3 = W_{it} \tag{Eq. 9.37}$$

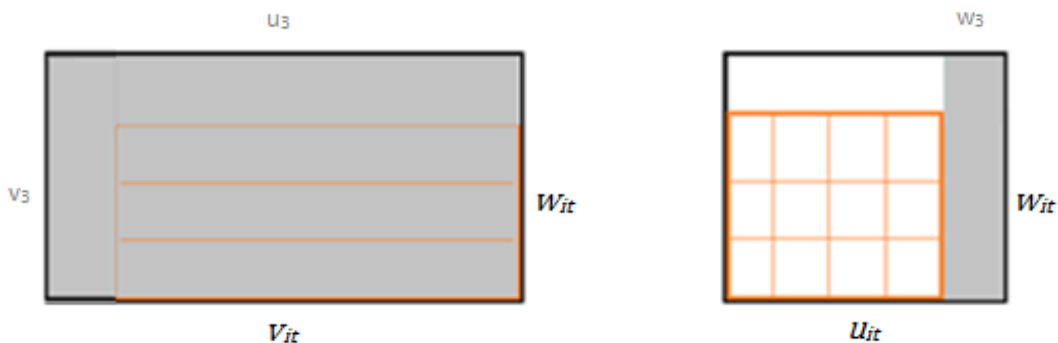


Figura 9.10 – Creació espai D+A' (font: elaboració pròpia)

9.2.4. Exemple

Per explicar més gràficament els procediments anteriors es farà ús d'un exemple on s'utilitzaran els tres procediments. En aquest, es disposa d'un espai t i un article j amb el que es determinarà el màxim d'articles d'aquest tipus que hi caben, l'espai ocupat pels articles col·locats i els espais que deixen les zones buides.

- Paràmetres
 - Espai inicial = [312, 193, 152]
 - $u_{it} = 312$ mm
 - $v_{ti} = 193$ mm
 - $w_{it} = 152$ mm
 - Article $j = [154, 87, 93]$
 - $x_j = 154$ mm
 - $y_j = 87$ mm
 - $z_j = 93$ mm
 - N° d'articles $j = 3$

- Càlculs

- *Procediment 1*

$$P1 = \text{Int} (312 / 154) * \text{Int} (193 / 87) * \text{Int} (152 / 93) = 4 \text{ art.}$$

$$P2 = \text{Int} (312 / 87) * \text{Int} (193 / 154) * \text{Int} (152 / 93) = 3 \text{ art.}$$

$$P3 = \text{Int} (312 / 93) * \text{Int} (193 / 87) * \text{Int} (152 / 154) = 0 \text{ art.}$$

$$P4 = \text{Int} (312 / 154) * \text{Int} (193 / 93) * \text{Int} (152 / 87) = 4 \text{ art.}$$

$$P5 = \text{Int} (312 / 87) * \text{Int} (193 / 93) * \text{Int} (152 / 154) = 0 \text{ art.}$$

$$P6 = \text{Int} (312 / 93) * \text{Int} (193 / 154) * \text{Int} (152 / 87) = 3 \text{ art.}$$

$$\mathbf{MaxP} = 4 \text{ articles (P1 i P4)}$$

Les posicions on es podran introduir més articles són la P1 i la P4 amb 4 articles cadascuna. Es quedarà amb la P1 ja que el procediment considera la primera posició màxima de les que troba. Per tant, no farà falta fer cap canvi de coordenades de l'article.

- *Procediment 2 – variant 2.1.:* Creació del bloc formant capes horitzontals (costat $u_{it}-v_{ti}$) a partir de col·locar files d'articles que segueixen la direcció u_{it} .

Aquest procediment es realitza perquè n^0 articles j restants < **MaxP**.

- $N0 = 3$
- $N1 = \underline{\text{Int}} (u_{it} / x_j) = \underline{\text{Int}} (312 / 154) = 2$ art.
- $N2 = \underline{\text{Int}} (v_{ti} / y_j) = \underline{\text{Int}} (193 / 87) = 2$ art.
- $N3 = \underline{\text{Int}} (w_{it} / z_j) = \underline{\text{Int}} (152 / 93) = 1$ art.

- Com $\frac{N0}{N1} > 1$ i $\frac{N0}{N1 * N2} \leq 1$:

- $u' = x_j * N1 = 154 * 2 = 308$ mm
- $v' = \underline{\text{Int}} \left(\frac{N0}{N1} + 0,99 \right) * y_j = \underline{\text{Int}} \left(\frac{3}{2} + 0,99 \right) * 87 = 174$ mm
- $w' = z = 93$ mm
- Espai ortogonal ocupat = $[u', v', w'] = [308, 174, 93]$ (de $[312, 193, 152]$)

- Mirar si hi ha buits en l'espai creat:

- $$NBuits = \frac{(u' * v' * w') - (x_j * y_j * z_j * N0)}{x_j * y_j * z_j} = 1$$
- Espai buit = $[NBuits * x_j, y_j, z_j] = [x_j, y_j, z_j] = [154, 87, 93]$

S'ha determinat l'espai ortogonal que ocupa el bloc d'articles col·locats i s'ha creat un espai buit que podrà ser utilitzat per posar més articles posteriorment.

- *Procediment 3* – variant 3.1: Maximitzar espai superior

- Subespai 1:

$$u_1 = U_{it} = 312 \text{ mm}$$

$$v_1 = V_{ti} = 193 \text{ mm}$$

$$w_1 = W_{it} - w' = 152 - 93 = 59 \text{ mm}$$

- Subespai 2:

$$u_2 = u' = 308 \text{ mm}$$

$$v_2 = V_{ti} - v' = 193 - 174 = 19 \text{ mm}$$

$$w_2 = w' = 93 \text{ mm}$$

- Subespai 3:

$$u_3 = U_{it} - u' = 4 \text{ mm}$$

$$v_3 = V_{ti} = 193 \text{ mm}$$

$$w_3 = w' = 93 \text{ mm}$$

Per tant, resten tres subespais amb les següents dimensions:

- Subespai 1 = [312, 193, 59]
- Subespai 2 = [308, 19, 93]
- Subespai 3 = [4, 193, 93]

Aquests subespais, juntament amb l'espai buit del *Procediment 2*, s'afegiran als espais ja creats perquè siguin utilitzats posteriorment.

9.3. Algorismes

Un cop explicats els diferents procediments que s'utilitzen, és moment de mostrar com combinar-los en els algorismes. Es proposen dos algorismes, un pel cas de que els articles a empaquetar siguin d'un sol tipus, i l'altre quan n'hi ha de diferents.

Els algorismes creats són heurístics de tipus directe (“*greedy*”) que segueixen un mètode constructiu. Construeixen una solució de forma progressiva a partir de certs passos, constituïts d'una sèrie de procediments i iteracions que determinen quins articles han d'anar col·locats en cada caixa. En trets generals, aquests algorismes creen espais ortogonals, on l'espai inicial és la caixa sencera, que s'intenten omplir amb articles. Cada cop que s'utilitza un espai es creen altres subespais amb les zones que han quedat buides i s'elimina l'original. No tenen en compte la posició en la que es col·loca cada element, només el total de elements que es poden col·locar dins la caixa sencera. Això simplifica l'algorisme ja que no ha de tenir memòria per recordar en quina posició va cada element.

Les millors solucions es troben quan els espais s'aprofiten al màxim. Les característiques dels algorismes que es proposen i els seus procediments fan que aquestes condicions es donin quan es maximitza el volum d'un dels espais sobre el volum dels altres que es creen simultàniament.

9.3.1. Algorisme 1: un sol tipus d'article

Aquest algorisme no té en compte la limitació màssica de les caixes, ni la restricció de que les caixes del tipus S04 només es poden utilitzar en cas de que els articles no es puguin introduir en una S03, la caixa de major volum que s'utilitzarà per defecte. Procedeix determinant el nombre màxim d'articles que caben en cada tipus de caixa i, posteriorment, retorna el nombre de caixes de cada tipus que es necessiten per empaquetar tots els elements, de forma que s'utilitzi el mínim volum total. Com només utilitza el *Procediment 1* i el *3*, únicament hi haurà dues possibles variants. Aquestes variants s'anomenaran 1A i 1B i dependran de les variants 3.1. i 3.2., del *Procediment 3*, respectivament. La figura 9.11. mostra l'esquema dels diferents passos i decisions que es realitzen en l'algorisme, que serà igual per les dues variants.

Inici Algorisme 1A (ó 1B)

Agafar article

$k = 1$ (tipus de caixa 1)

Mentre $k \leq 4$ (tipus de caixes diferents)

Obrir caixa tipus k

Crear espai inicial (1) amb les dimensions de la caixa

$t=1$

Mentre hi hagin espais disponibles

Agafar espai t

Procediment 1 (un sol tipus d'article, espai t)

Si $\text{MaxP} > 0$

Col·locar MaxP articles a la caixa

Procediment 3.1. (ó 3.2.)

Afegir espais buits creats a la llista

Fi Si

$t=t+1$ (agafar espai següent)

Fi Mentre

Agafar següent tipus de caixa $k + 1$

Fi Mentre

Determinar quantes caixes es necessiten de cada tipus

Fi Algorisme 1A (ó 1B)

Figura 9.11. – Algorisme 1 (font: elaboració pròpia)

9.3.2. Algorisme 2: diferents tipus d'articles

Aquest algorisme sí que té en compte la limitació màssica de les caixes. Retorna la quantitat d'articles de cada tipus que han d'anar en cada caixa determinada per realitzar l'empaquetament i de quin tipus és aquesta. Primerament, es realitza una classificació dels articles per determinar quins són els que requeriran ser introduïts en una caixa S04. Aquests es col·loquen al principi perquè siguin els primers en introduir-se en les S04 i així minimitzar l'ús d'aquest tipus de caixa. Un cop fet això, s'ordenen, per una part, els articles que s'hauran d'introduir en les caixes S04 i, per l'altra, la resta d'articles, segons el seu volum de major a menor. D'aquesta forma s'aconsegueix que primer s'intentin col·locar els articles majors en els espais grans, mentre que els més petits es destinen a omplir els espais petits que han quedat al fer les divisions i que no es podrien aprofitar altrament. L'algorisme utilitza una estratègia de selecció semblant a la "Next Fit Decreasing" pel fet de que només hi ha una caixa oberta a la vegada i per l'ordenació prèvia dels articles, com s'ha comentat anteriorment. Es diferencia del "Next Fit" pel fet de que la caixa seleccionada no es tanca fins que no s'han avaluat tots els espais que s'hi creen.

En aquest cas hi haurà moltes possibles variants diferents ja que s'utilitzen els tres procediments mostrats en la secció 9.2. Aquestes variants es formen al combinar les del *Procediment 2* amb les del 3. La taula 9.1. mostra les combinacions de les variants dels procediments escollides. Cada una d'aquestes combinacions genera les versions 2A, 2B, 2C i 2D de l'Algorisme 2.

	<i>Variants Procediment 2</i>				<i>Variants Procediment 3</i>	
	2.1.	2.2.	2.3.	2.4.	3.1.	3.2.
Algorisme 2A	X				X	
Algorisme 2B		X			X	
Algorisme 2C			X			X
Algorisme 2D				X		X

Taula 9.1. – Variants Algorisme 2 (font: elaboració pròpia)

S'han escollit aquestes combinacions perquè les variants dels procediments s'adapten millor entre elles, fet que ajuda a l'obtenció d'uns millors resultats. S'adapten millor pel fet de que la

construcció del bloc en el *Procediment 2* afavoreix a que els espais buits maximitzats en el *Procediment 3* ja fossin el més grans possibles.

A continuació, es mostra l'esquema dels diferents passos i decisions que es realitzen en l'algorisme (figura 9.12.), que serà igual per totes les variants dels procediments.

Inici Algorisme 2A/2B (ó 2C/2D)

Classificar i ordenar articles i les seves dimensions

$j = 1$ (agafar primer tipus d'article)

$i = 0$ (caixa inicial fictícia, no té espais)

Mentre $j \leq n$ (no final: nombre d'articles diferents)

Mentre no final (col·locar tots els articles del tipus j)

Si no hi ha espai buit ($t+1$) creat a la caixa i actual

Tancar caixa i actual

Obrir caixa $i + 1$ nova (la més gran de les possibles, la S03)

Determinar si es requereix una caixa S04 i fer el canvi en cas afirmatiu

Crear espai inicial (1) amb les dimensions de la caixa

$t = 1$

Altrament, Si hi ha espai buit ($t+1$) creat a la caixa i actual

$t = t+1$ (agafar espai següent)

Fi Si

Agafar article j

Determinar articles j restants per col·locar (k_j)

Procediment 1 (article j , espai t)

Si $\text{MaxP} > 0$

Si $k_j \geq \text{MaxP}$ i no es supera massa màxima CM_i (amb MaxP articles col·locats)

Col·locar MaxP articles tipus j en caixa i

Procediment 3.1. (ó 3.2.)

Recalculer nombre d'articles restants ($k_j = K_j - \text{MaxP}$)

Altrament, Si $k_j \geq \text{MaxP}$ però es supera massa màxima CM_i (amb MaxP articles col·locats)

Definir k_0 (nº articles possibles sense excedir massa màxima)

Col·locar k_0 articles

Procediment 2.1./2.2. (ó 2.3./2.4.) (article j, espai t, k_0 articles)

Procediment 3.1. (ó 3.2.)

Afegir espais buits creats a la llista

Recalculer nombre d'articles restants ($k_j = K_j - k_0$)

Altrament, Si $\text{MaxP} > k_j$ i no es supera massa màxima CM_i (amb k_j articles col·locats)

Col·locar k_j articles

Procediment 2.1./2.2. (ó 2.3./2.4.) (article j, espai t, k_j articles)

Procediment 3.1. (ó 3.2.)

Afegir espais buits creats a la llista

Recalculer nombre d'articles restants ($k_j = 0$)

Altrament, Si $\text{MaxP} > k_j$ i es supera massa màxima CM_i (amb k_j articles col·locats)

Definir k_0 (nº articles possibles sense excedir massa màxima)

Col·locar k_0 articles

Procediment 2.1./2.2. (ó 2.3./2.4.) (article j, espai t, k_0 articles)

Procediment 3.1. (ó 3.2.)

Afegir espais buits creats a la llista

Recalculer nombre d'articles restants ($k_j = K_j - k_0$)

Fi Si

Altrament, Si $\text{MaxP} = 0$

$$s = j + 1$$

Mentre $s \leq n$ (no final: nombre d'articles diferents)

Determinar articles s restants per col·locar (k_s)

Si $k_s > 0$

Procediment 1 (article s , espai t)

Si $k_s \geq \text{MaxP}$ i no es supera CM_i (amb MaxP articles col·locats)

Col·locar MaxP articles tipus j en caixa i

Procediment 3.1. (ó 3.2.)

Afegir espais buits creats a la llista

Recalculer articles restants ($k_s = K_s - \text{MaxP}$)

$s=n$ (acabar el mentre)

Altrament, Si $k_s \geq \text{MaxP}$ però es supera CM_i (amb MaxP articles col·locats)

Definir k_{s0}

Col·locar k_{s0} articles

Procediment 2.1./2.2. (ó 2.3./2.4.) (article s , espai t , k_{s0} articles)

Procediment 3.1. (ó 3.2.)

Afegir espais buits creats a la llista

Recalculer articles restants ($k_s = K_s - k_{s0}$)

$s=n$ (acabar el mentre)

Altrament, Si $\text{MaxP} > k_s$ i no es supera CM_i (amb k_s articles col·locats)

Col·locar k_s articles

Procediment 2.1./2.2. (ó 2.3./2.4.) (article s , espai t , k_s articles)

Procediment 3.1. (ó 3.2.)

Afegir espais buits creats a la llista

Recalculer articles restants ($k_s = 0$)

$s = n$ (acabar el mentre)

Altrament, Si $\text{MaxP} > k_s$ i es supera CM_i (amb k_s articles col·locats)

Definir k_{s0}

Col·locar k_{s0} articles

Procediment 2.1./2.2. (ó 2.3./2.4.) (article j, espai t, k_{s0} articles)

Procediment 3.1. (ó 3.2.)

Afegir espais buits creats a la llista

Recalculer articles restants ($k_s = K_s - k_{s0}$)

$s = n$ (acabar el mentre)

Fi Si

Fi Si

$s = s + 1$

Fi Mentre

Fi Si

Fi Mentre

$j = j + 1$ (passar al següent tipus d'article)

Fi Mentre

Fi Algorisme 2A/2B (ó 2C/2D)

Figura 9.12. – Algorisme 2 (font: elaboració pròpia)

9.3.3. Algorisme 3: reduir última caixa

Aquest algorisme és un complement de l'Algorisme 2 que s'utilitza un cop aquest ha acabat i ha retornat els resultats. Serveix per reduir, quan sigui possible, l'última caixa de les retornades per l'Algorisme 2 en una d'un tipus de menors dimensions. Per fer això, aquest algorisme prova si els articles es poden col·locar en alguna de les caixes de tipus menor a l'actual, començant per la S01 fins a trobar una on hi càpiguen. Si no es trobés cap caixa inferior es quedaria amb l'actual. Com les caixes S04 només s'utilitzen en cas de que algun article dels inclosos no es pogués introduir en la S03, només es provarà reduir l'última caixa si aquesta és de tipus S03.

Aquest algorisme tindrà les mateixes quatre variants que l'Algorisme 2 i, al ser un complement d'aquest, es seguirà amb la mateixa variant utilitzada prèviament, tot i que no és estrictament necessari. La figura 9.13. mostra l'esquema dels diferents passos i decisions que es realitzen en l'algorisme, que serà igual per totes les variants dels procediments.

Inici Algorisme 3A, 3B, 3C ó 3D

Classificar i ordenar els tipus d'articles de l'última caixa, i les seves dimensions

Determinar el nombre d'articles de cada tipus introduïts a l'última caixa

Agafar caixa inicial tipus S01

Mentre no final (tipus de caixa igual a l'actual)

Executar Algorisme 2A, 2B, 2C ó 2D

Si s'ha utilitzat més d'una caixa per fer l'empaquetament

Passar al següent tipus de caixa superior

Altrament, Si només s'ha utilitzat una caixa

Passar caixa actual a aquest tipus

Fi Si

Fi Mentre

Fi Algorisme 3A, 3B, 3C ó 3D

Figura 9.13. – Algorisme 3 (font: elaboració pròpia)

10. Avaluació dels algorismes

Per determinar el funcionament dels algorismes creats s'han implementat programes informàtics, amb l'ajuda de l'eina Microsoft Visual Basic 6.3, dins del software Microsoft Excel. S'han dissenyat cinc programes diferents, un per a l'Algorisme 1, que utilitza la variant 1A, i quatre per la combinació dels algorismes 2 i 3, un per a cada variant. Per executar aquests programes, a cada una de les diferents "macros" creades se'ls hi ha assignat un botó que inclou el nom de l'acció.

S'han dissenyat les quatre versions del programa de l'Algorisme 2 per escollir aquella que proporciona uns millors resultats. Idealment s'hauria de crear un programa que englobés les quatre versions i escollís la millor de les quatre solucions, però amb les eines utilitzades no ha estat possible. En canvi, a l'Algorisme 1 no se li ha trobat una gran utilitat (per part de l'empresa) per resoldre les necessitats del cas, i només s'ha dissenyat una versió, amb la variant 1A, per provar el funcionament general d'aquest, ja que els resultats no s'allunyan molt dels que s'obtindrien amb la versió 1B.

La forma escollida d'analitzar els resultats ha sigut agafar una sèrie d'articles ficticis de diferents dimensions i pesos, i combinar-los de diferents formes en els algorismes. Posteriorment, s'analitza la resposta i es pot determinar el funcionament d'aquests.

Tot i això, solament amb els programes no es pot comprovar si les solucions són factibles, ja que no hi ha cap dibuix o indicació de la col·locació dels articles i tampoc es disposa d'aquests per fer les proves. Per això, s'utilitzarà una versió de demostració d'un programa amb llicència d'ús anomenat "*3Dbinpacking.com*", que sí incorpora imatges amb la col·locació dels articles. Com aquest programa no utilitza els mateixos algorismes que els creats en aquest treball, cada un dels programes s'haurà d'avaluar de diferents maneres.

Aquesta comprovació mitjançant la versió de demostració del programa "*3Dbinpacking.com*" té l'inconvenient de que és molt poc funcional a l'hora de introduir els paràmetres i executar el programa. Per aquest motiu, s'ha decidit realitzar la comprovació amb algunes de les simulacions que s'han considerat més rellevants.



10.1. Algorisme 1: un sol tipus d'article

10.1.1. Descripció del Programa Algorisme 1

El programa de l'Algorisme 1 només utilitza un full d'Excel (figura 10.1.). En aquest, hi ha els paràmetres de cada tipus de caixa diferent, que l'algorisme utilitza per fer els càlculs pertinents, i diverses caselles on posar els paràmetres de l'article que s'empaquetarà i la seva quantitat. També s'ha habilitat una zona amb varies caselles on es plasma la solució.

L'algorisme retorna el nombre màxim d'articles que es poden col·locar en cada tipus de caixa, la quantitat de caixes necessàries de cada tipus, el volum total utilitzat per fer l'empaquetament i el percentatge d'ompliment d'aquest volum.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Article				Caixes				
2	x (mm)	y (mm)	z (mm)	nº articles	u (mm)	v (mm)	w (mm)	Vol. Int. (dm ³)	Tipus
3	120	76	59	62	574	373	285	61,01907	S04
4					374	273	285	29,09907	S03
5					374	273	135	13,78377	S02
6					378	127	139	6,672834	S01
7									
8									
9	Caixa	nº articles	% ompl.	nº Caixes a Utilitzar					
10	S04	84	74%	0					
11	S03	36	67%	1					
12	S02	18	70%	1					
13	S01	9	73%	1					
14									
15		Volum utilitzat (dm ³)		% ompliment total					
16		49,56		67%					
17									

Empaquetar

Netejar

Figura 10.1. – Imatge de la interfase de l'Algorisme 1 (font: elaboració pròpia)

10.1.2. Joc de dades avaluat

Per analitzar els resultats s'ha escollit una mostra de 10 tipus d'articles, ordenats de forma decreixent segons el volum a la taula 10.1. Aquests articles són ficticis però amb uns paràmetres semblants als que es podrien trobar al magatzem del centre logístic de Sant Boi de Llobregat. En canvi, els paràmetres de les caixes corresponen a les utilitzades en el magatzem.

Articles	x (mm)	y (mm)	z (mm)	Volum (dm ³)
1	531	193	176	18,04
2	212	185	351	13,77
3	379	201	154	11,73
4	212	223	164	7,75
5	456	123	98	5,50
6	357	159	67	3,80
7	222	123	104	2,84
8	321	67	67	1,44
9	120	76	59	0,54
10	102	50	48	0,24

Taula 10.1. – Llistat de 10 articles per analitzar el resultats de l'Algorisme 1 (font: elaboració pròpia)

S'ha decidit realitzar una anàlisi on s'utilitzin tots els articles però, com l'algorisme està dissenyat per un sol article, s'executarà cada article per separat. Els resultats s'utilitzaran per crear una mitjana del comportament dels 10 articles segons cada tipus de caixa.

10.1.3. Avaluar el comportament de l'algorisme per cada tipus de caixa

Aquesta anàlisi determina el rendiment mitjà de l'algorisme per cada tipus de caixa utilitzant els resultats obtinguts amb els articles de la mostra anterior (veure taula 10.2.). Per tal que l'algorisme pugui determinar el nombre de caixes necessàries de cada tipus s'ha decidit fixar a 20 unitats el nombre d'articles a empaquetar en tots els casos. Per calcular la mitjana de l'ompliment, només es compten aquelles caixes on els articles hi caben.

Articles	Nº màxim d'articles per caixa				Nº de caixes necessàries (20 unitats)				Ompliment mitjà (%)			
	S01	S02	S03	S04	S01	S02	S03	S04	S01	S02	S03	S04
1	0	0	0	2	0	0	0	10	X	X	X	59
2	0	0	1	3	0	0	0	7	X	X	47	68
3	0	0	0	2	0	0	0	10	X	X	X	38
4	0	0	2	4	0	0	0	5	X	X	53	51
5	0	0	0	6	0	0	0	4	X	X	X	54
6	0	2	5	13	0	1	1	1	X	55	65	81
7	1	3	6	15	0	0	1	1	43	62	59	70
8	2	8	16	32	0	1	1	0	43	84	79	76
9	9	18	36	84	1	1	0	0	73	70	67	74
10	14	35	87	192	0	1	0	0	51	62	73	77
Mitjana	2,6	6,6	15,3	35,3	0,1	0,4	0,3	3,8	52,5	66,6	63,3	64,8

Taula 10.2. – Resultats de l'Algorisme 1

També s'ha mesurat el temps d'execució mig del programa pels 10 articles diferents. Aquest algorisme retorna el resultat global i el dels tipus de caixa a la vegada. Per aquest motiu, únicament hi ha un temps d'execució per cada tipus d'article, utilitzant 20 unitats d'aquest. En tots els casos ha sigut menor a un segon, però no s'ha pogut extreure conclusions més precises amb les eines de les que es disposaven. Tot i això, les petites variacions de temps no afecten a l'ús del programa.

10.1.4. Conclusió

Els resultats d'aquesta anàlisi han estat satisfactoris ja que s'ha determinat correctament les caixes necessàries per empaquetar les 20 unitats de cada article, segons els resultats del nombre màxim d'articles per caixa. El percentatge d'ompliment mitjà no és molt elevat però és coherent pel fet de que només s'empaqueta un sol tipus d'article i, quan aquest no s'adapta bé a la caixa, no es pot assolir un bon ompliment complementant-lo amb altres tipus d'articles.

Independentment de l'anàlisi dels resultats, s'ha decidit comparar els articles parells de la mostra amb les solucions que el programa "3Dbinpacking.com" ofereix (annex B). S'ha vist una coincidència total en el nombre d'elements que poden anar en cada caixa, fet que demostra la factibilitat i la qualitat dels resultats que genera el programa.

10.2. Algorisme 2+3: diferents tipus d'articles

10.2.1. Descripció del Programa Algorisme 2+3

Aquest segon programa utilitza dos fulls d'Excel. En el primer (figura 10.2.), hi ha de nou els paràmetres de cada tipus de caixa diferent i una zona on posar els paràmetres dels articles que s'empaquetaran i la quantitat de cadascun. En aquest programa també es necessari incorporar en els paràmetres la massa dels articles ja que hi ha la limitació màssica de les caixes que s'ha de complir. En el segon full, inicialment hi ha una matriu de zeros de 100x50 on cada fila és una caixa diferent i cada columna és un tipus d'article (figura 10.3.). Aquesta matriu s'omple amb la solució i posteriorment es retalla i és millora la presentació (figura 10.4.). Cada cop que s'executa el programa és necessari inicialitzar la matriu solució mitjançant el boto "Netejar empaquetament".

L'algorisme retorna la quantitat d'articles de cada tipus que van en cada caixa i el percentatge de volum i pes utilitzat d'aquestes i el percentatge global. Les caixes que s'utilitzen per defecte són de tipus S03 i si s'utilitzés qualsevol altre s'indica al final de cada fila.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Articles						Caixes					
2	x (mm)	y (mm)	z (mm)	Volum (dm ³)	Massa (kg)	nº articles	u (mm)	v (mm)	w (mm)	Vol. Int. (dm ³)	Massa Màx. (kg)	Tipus
3	525	362	131	24,897	16,826	1	574	373	285	61,02	25	S04
4	531	193	176	18,037	13,791	2	374	273	285	29,10	20	S03
5	379	201	154	11,732	6,865	4	374	273	135	13,78	10	S02
6	456	123	98	5,497	3,748	5	378	127	139	6,67	5	S01
7	376	87	87	2,846	1,731	10						
8	351	212	185	13,766	9,383	3						
9	357	159	67	3,803	2,301	6						
10	263	189	76	3,778	1,988	7						
11	254	178	74	3,346	3,345	8						
12												
13												
14												
15												
16												

Netejar empaquetament

Empaquetar

Reduir última caixa

Netejar Articles

Figura 10.2. – Algorisme 2: interfase inicial (full 1) (font: elaboració pròpia)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Caixes	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	Unit. Art. 7	Unit. Art. 8	Unit. Art. 9	Unit. Art. 10	Unit. Art. 11	Unit. Art. 12	Unit. Art. 13	Unit. Art. 14	Unit. Art. 15
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 10.3. - Matriu inicial de la solució (full 2) (font: elaboració pròpia)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Caixes	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	% Volum	% Pes	
2	1	2	1	0	0	1	27	85%	95%	
3	2	2	1	0	0	1	8	72%	72%	
4	3	2	1	0	0	1	0	67%	63%	
5	4	2	1	0	0	1	0	67%	63%	
6	5	0	2	6	2	2	0	80%	96%	
7	6	0	0	6	6	3	0	76%	98%	
8	7	0	0	0	11	4	0	64%	92%	
9	8	0	0	0	0	4	0	27%	44%	S02
10										
11							% Mig	67%	78%	
12										

Figura 10.4. – Algorisme 2: interfase de la solució (full 2) (font: elaboració pròpia)

10.2.2. Joc de dades avaluat

Per analitzar els resultats s'ha escollit una mostra de 20 tipus d'articles ficticis, però semblants als que es poden trobar al magatzem, que incorpora els 10 articles de la mostra utilitzada per l'Algorisme 1. S'ha ampliat la mostra per poder arribar a unes millors conclusions sobre el funcionament d'aquest algorisme. La taula 10.2. incorpora els paràmetres de la mostra seleccionada amb els articles ordenats segons el volum, de major a menor.

Articles	x (mm)	y (mm)	z (mm)	Volum (dm ³)	Massa (kg)
1	525	362	131	24,897	16,826
2	531	193	176	18,037	13,791
3	212	185	351	13,766	9,383
4	379	201	154	11,732	6,865
5	456	123	98	5,497	3,748
6	357	159	67	3,803	2,301
7	263	189	76	3,778	1,988
8	254	178	74	3,346	3,345
9	274	203	57	3,170	1,955
10	376	87	87	2,846	1,731
11	222	123	104	2,840	2,839
12	258	111	75	2,148	2,747
13	212	103	86	1,879	1,977
14	321	67	67	1,441	2,440
15	111	100	97	1,077	1,776
16	234	72	56	0,943	0,543
17	120	96	70	0,806	0,806
18	148	65	47	0,452	0,452
19	102	50	48	0,245	0,247
20	73	59	45	0,194	0,193

Taula 10.2 – Llistat de 20 articles per analitzar els resultats de l'Algorisme 2 (font: elaboració pròpia)

Per dur a terme l'anàlisi dels resultats, s'ha decidit realitzar 5 simulacions on es combinin els articles, variant la selecció d'articles de la mostra i la quantitat d'aquests (taula 10.3.). En cada simulació s'executaran les quatre versions de l'Algorisme 2+3. Els resultats obtinguts (veure taula 10.4.) s'utilitzaran per crear una mitjana, per a cada versió, d'aquests i determinar-ne el funcionament.

	Tipus d'articles de la mostra	Unitats de cada tipus
Simulació 1	Tots	1
Simulació 2	Tots	2
Simulació 3	Tots	Creixents (d'1 en 1)
Simulació 4	> 3 dm ³	Creixents (de 2 en 2)
Simulació 5	≤ 3 dm ³	Creixents (de 5 en 5)

Taula 10.3. – Combinacions de la mostra d'articles per les simulacions (font: elaboració pròpia)

10.2.3. Avaluar el comportament de l'algorisme

Per analitzar els resultats s'ha decidit centrar-se en els paràmetres que aporten més informació a l'hora de determinar quina versió de l'Algorisme 2+3 proporciona uns millors resultats. Aquests paràmetres es veuen reflectits en la taula 10.4. Tot i això, l'algorisme també proporciona altres informacions rellevants com les caixes totals, de quin tipus és cada una i quins articles i en quines quantitats han d'anar col·locats en cada caixa (annex C).

		Algorisme 2A	Algorisme 2B	Algorisme 2C	Algorisme 2D
Simulació 1	Caixes S04 utilitzades	2	2	2	2
	Vol. mitjà utilitzat (%)	57,1	57,1	57,1	57,1
	Massa mitjana utilitzada (%)	84,4	84,4	84,4	84,4
	Temps d'execució (s)	3,7	3,8	3,9	4,0
Simulació 2	Caixes S04 utilitzades	4	4	4	4
	Vol. mitjà utilitzat (%)	57,1	57,1	60,9	60,9
	Massa mitjana utilitzada (%)	84,4	84,4	92,1	92,1
	Temps d'execució (s)	5,7	5,6	6,1	6,4
Simulació 3	Caixes S04 utilitzades	6	6	5	5
	Vol. mitjà utilitzat (%)	63,5	63,5	63,8	63,8
	Massa mitjana utilitzada (%)	97,1	97,1	93,6	93,6
	Temps d'execució (s)	16,9	17,3	19,6	19,5
Simulació 4	Caixes S04 utilitzades	10	10	9	9
	Vol. mitjà utilitzat (%)	65,2	65,2	63,5	63,5
	Massa mitjana utilitzada (%)	85,9	85,9	80,2	80,2
	Temps d'execució (s)	7,2	6,1	9,5	8,1
Simulació 5	Caixes S04 utilitzades	1	1	1	1
	Vol. mitjà utilitzat (%)	56,6	56,6	56,6	56,6
	Massa mitjana utilitzada (%)	97,5	97,5	97,5	97,5
	Temps d'execució (s)	8,0	8,1	8,8	9,1
Mitjana	Caixes S04 utilitzades	4,6	4,6	4,2	4,2
	Vol. mitjà utilitzat (%)	59,9	59,9	60,4	60,4
	Massa mitjana utilitzada (%)	89,9	89,9	89,6	89,6
	Temps d'execució (s)	8,3	8,2	9,6	9,4

Taula 10.4. – Resultats de les simulacions (font: elaboració pròpia)

10.2.4. Conclusions

Observant els valors de la taula 10.4. i els de l'annex C es pot veure que les versions 2A i 2B proporcionen els mateixos resultats en tots els casos (excepte en el temps d'execució però que és molt similar), fet que també succeeix amb les 2C i 2D. Per tant, s'arriba a la conclusió que, pel cas de l'estudi, amb les versions 2C o 2D s'obtenen uns millors resultats, independentment de quina s'esculli. Encara que els temps d'execució siguin majors en aquestes variants, es redueix el nombre de caixes S04 a utilitzar i el percentatge de volum aprofitat és superior. Així doncs, s'escollirà com a algorisme final qualsevol d'aquestes dues variants.

Aquest resultat és conseqüència de que l'alçada de les caixes és aproximadament la meitat de l'amplitud. Això significa que si la quantitat d'articles d'un sol tipus a col·locar és menor que MaxP, és més freqüent que es creï un espai major al maximitzar els espais buits laterals degut a que la capa horitzontal externa no s'arribarà a omplir i s'haurà de crear un espai buit per completar-la, mentre que les verticals s'ompliran més fàcilment. A més, l'inconvenient d'un major temps d'execució és una conseqüència de la reducció de les caixes S04, ja que es necessita un nombre més elevat de caixes totals per fer l'empaquetat.

Donats els paràmetres de volum i massa dels articles de la mostra, el límit màssic s'ha assolit abans en quasi tots els casos que el límit de volum. En conseqüència l'algorisme dona molt bons resultats en termes de percentatge de massa utilitzada sobre el màxim de massa permesa (fregant el 90%). En termes de volum, els resultats no són molt millorables tenint en compte que amb el percentatge de massa utilitzada assolit no es possible reduir el nombre de caixes.

La factibilitat dels resultats s'ha contrastat amb el programa "*3Dbinpacking.com*" (annex D). Degut a la poca funcionalitat de la versió de demostració, s'ha decidit fer-ho amb la caixa que tingui el percentatge de volum ocupat màxim de cada simulació i versió, però només en el cas de que aquesta superi el 75%. De les 6 comprovacions que s'han fet han coincidit 5. En el cas que no hi ha hagut coincidència (Annex D; Simulació 3; Algorisme 2A/2B; Caixa 10), el programa "*3Dbinpacking.com*" no ha aconseguit col·locar tots els articles. A la imatge de l'empaquetament es pot observar que resten espais buits on es podrien col·locar els articles descartats pel programa. Aquests fets demostren la fiabilitat i factibilitat dels resultats de l'algorisme creat que és capaç d'empaquetar tots els articles.

11. Pressupost

A continuació es durà a terme una anàlisi econòmica, plantejant el projecte com una inversió, que requereix d'una despesa inicial per a la seva implementació, i que es veurà compensada i superada amb el temps per l'estalvi que suposa l'aplicació del projecte per a l'empresa, en aquest cas Schneider Electric.

11.1. Inversió inicial

Les despeses inicials que s'estimen en totes les fases de desenvolupament del projecte estan reflectides en la taula 11.1.

Concepte	Hores	Cost (€/h)	Preu total (€)
1. Definició del Problema			
1.1. Cerca d'informació	30	30	900
1.2. Definició de les especificacions	50	30	1500
2. Disseny			
2.1. Disseny dels paràmetres	80	30	2400
2.2. Disseny de la interfase i implementació	100	30	3000
2.3. Depuració i Proves	80	30	2400
3. Interpretació i Dades	50	30	1500
4. Estudi de l'activitat Logística	30	30	900
5. Impostos (IVA - 21%)			2646
		TOTAL	15246

Taula 11.1. – Inversió inicial (font: elaboració pròpia)

11.2. Estalvi: canvis de caixa

En aquesta secció es recull l'estalvi associat a evitar els canvis de caixa deguts a que els articles no puguin ser col·locats en les caixes pertinents. En el capítol 5 s'ha calculat la despesa anual que suposa el fet dels canvis de caixa. Aquesta despesa ascendia a **5052,60 €**, que s'estalviarien en la totalitat.

11.3. Estalvi: transport dels lliuraments

Com que l'algorisme creat no limita el percentatge de volum ocupat, es podran superar els límits imposats per l'empresa actualment. Tot i això, no sempre es superaran, bé perquè s'arribi abans al límit màssic, bé pel fet de que els articles no s'ajustin prou bé als paràmetres de la caixa. La variabilitat que creen aquests factors en l'empaquetament fa molt difícil poder calcular l'estalvi exacte ja que s'hauria de comparar l'execució dels dos algorismes lliurement a lliurement o a nivell global de lliuraments del centre logístic.

Per poder determinar la millora que proporciona aquest programa respecte l'actual, es durà a terme una anàlisi on no es tindrà en compte la massa dels articles. Això permetrà obtenir els valors d'ompliment que l'algorisme creat pot assolir i es prendran com a referència per a comparar-lo amb el valor màxim actual de 70% del tipus de caixa més utilitzat (S03). Per arribar a aquests valors, s'han realitzat les cinc simulacions de la secció 10.2 amb la mateixa mostra d'articles però sense tenir en compte la seva massa. La taula 11.2. mostra els valors mitjans dels resultats d'interès obtinguts en les cinc simulacions (annex E).

	Volum Mitjà (%)
Algorisme 2A/2B	73,26
Algorisme 2C/2D	74,44

Taula 11.2. – Volum mitjà, sense considerar massa dels articles (font: elaboració pròpia)

Es pot observar que, com en les simulacions anteriors on es tenia en compte la massa, els algorismes 2A i 2B tornen a coincidir, al igual que els 2C i 2D. El percentatge de volum, com en els anteriors resultats, és superior amb els algorismes 2C i 2D, que maximitzen els espais laterals, i té un valor de 74,44%. Aquest supera en un 4,44% el valor màxim actual en les caixes S03, fet que demostra que l'empaquetament es pot millorar amb el nou programa. Aquesta diferència del 4,44% permetrà obtenir un càlcul orientatiu de l'estalvi en el concepte del transport d'expedició del lliuraments. El càlcul estimat es troba a la Taula 11.3.

	Diari	Anual
Volum expedit (m ³)	171,36	42840
4,44% reducció vol. expedit (m ³)	7,61	1902,10
Cost m ³ Expedit (€)	20	20
Estalvi (€)	152,20	38042

Taula 11.3. – Estalvi en el transport degut a la reducció del volum total de lliurament
(font: elaboració pròpia)

Aquests valors són orientatius, ja que no es coneix el volum expedit exacte des de la secció de Petit Volum, ni el valor del cost d'expedir un m³ ja que depèn de factors com la destinació, el transport o la companyia de serveis logístics. S'han calculat aquests valors de volum expedit tenint en compte els següents paràmetres:

- El percentatge de volum ocupat actual és el límit de les caixes S03 (70%)
- Un any té 250 dies laborables
- El centre compta amb 50 operaris a la secció de "*picking*", que treballen repartits en tres torns de 8 hores. Un operari finalitza un volum de 6 caixes S03, la capacitat del carro que utilitzen, en una mitja hora.
- El cost mitjà estimat d'expedir un m³ a qualsevol destinació de les possibles i en qualsevol medi de transport és de 20 €. Càlcul obtingut a partir de les tarifes marítimes de transport en contenidor a diferents destinacions del territori EMEA (veure Cargax).

11.4. Càlcul de la inversió

Considerant els dos estalvis anteriors, es generaria un estalvi anual de **43094,60 €**. Amb aquest valor es realitza el càlcul de la inversió en un horitzó de 3 anys (Taula 11.4.).

	Any 0	Any 1	Any 2	Any 3
Inversió (€)	-15246			
Reducció de costos (€)		43094,60	43094,60	43094,60
Flux de Caixa Q_t (€)	-15246	43094,60	43094,60	43094,60
Flux de caixa acumulat (€)	-15246	27848,60	70943,20	114037,80

Taula 11.4. – Càlcul de la inversió (font: elaboració pròpia)

Segons aquests valors, es poden extraure els valors del VAN (Valor Actualitzat Net) i el Període de Retorn.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Q_t}{(1+k)^t} = 91923,89 \text{ €}$$

$$\sum_{t=0}^T Q_t = 0 \rightarrow PR = T = 0,35 \text{ anys}$$

on,

Q_t = Flux de Caixa de l'any t

n = Horitzó econòmic del projecte

k = Cost del Capital = 10% anual

12. Impacte Ambiental

El fet de disminuir el volum total de les entregues no només crea un estalvi en el concepte del transport de les entregues, sinó que també es disminueix el nombre total de caixes utilitzades en aquets concepte. És veritat que aquest fet proporciona un estalvi per la reducció de caixes necessàries, però no s'ha tingut en compte perquè al tenir-les estandarditzades es reaprofiten aquelles que arriben de les fàbriques i altres centres logístics. Aquest fet disminueix el cost real, que s'ha considerat menyspreable enfront dels altres estalvis. Tot i això, sí que s'ha de fer menció a l'impacte ambiental que es produiria pel fet de fabricar aquesta considerable quantitat de caixes de cartró innecessàries.

Seguint amb els valors estipulats en l'apartat 11.3. es pot considerar que anualment es produiria una reducció de volum de 42840 m³. De les especificacions tècniques de les caixes (annex A), es poden extreure els següents paràmetres d'interès que es mostren a la Taula 12.1.

	Massa pròpia (g)	Volum extern (dm ³)	g/dm ³
S01	235	8,83	26,614
S02	515	17,85	28,852
S03	640	35,70	17,927
S04	1170	71,22	16,428

Taula 12.1. – Paràmetres d'interès de les caixes (font: elaboració pròpia)

Com no es sap la proporció d'ús exacta de cada tipus de caixa s'agafarà la mitjana dels valors de la tercera columna, que indica la massa (g) necessària de cartró per expedir un dm³. Aquesta mitjana té un valor de 22,455 g/dm³ (22,455 kg/m³).

En aquest punt, sabent la reducció de volum expedir i la massa de cartró necessària per expedir un m³ de cartró, es pot calcular la massa de cartró anual que s'estalviaria per aquesta causa, que és de **961,97 t**.

Per conèixer l'impacte ambiental es necessiten els paràmetres que indiquen els recursos necessaris per produir el cartró. En aquest cas, ja que els valors seran semblants, s'han utilitzat els paràmetres per produir una tona de paper, (veure CanalEduca):

- De 150 a 200 m³ d'aigua
- 7 MWh de consum elèctric

Multiplicant aquests valors per la massa de cartró anual estalviat, s'obté l'impacte ambiental anual.

➤ **Impacte ambiental anual:**

- De 144295,5 a 192394 m³ d'aigua
- 6,73 MWh de consum elèctric

Conclusions i Treball Futur

El 3D BPP és un conegut problema NP-Hard que és massa complex per ser resolt amb exactitud en temps polinòmic. Aquest treball presenta un algorisme heurístic tipus “*greedy*” que utilitza un procediment de selecció basat en el “*Next Fit*”.

Des de la seva creació els algorismes heurístics tipus “*greedy*” han demostrat ser un bon mètode de resolució per una gran varietat de problemes difícils. En aquest cas s’han adoptat per resoldre un problema d’empaquetament tipus 3D MBSBPP amb limitació màssica, definit per diferents tipus de caixes amb certes condicions establertes per l’empresa per a la seva utilització.

Es presenten dos tipus d’estudis considerant límits de massa i volum o només límits de volum. Els resultats computacionals mostren convincentment les bones propietats de l’algorisme plantejat (Algorisme 2+3), en particular en les variants C i D.

A més, s’utilitza l’estudi on només es considera el límit de volum per obtenir una millora en el rendiment del 4,44% respecte els resultats de l’algorisme utilitzat per l’empresa en l’actualitat. El percentatge de volum ocupat es situa al voltant del 75%, es minimitza l’ús de caixes S04 i s’elimina la necessitat de canvis de caixa. Aquests fets permeten mostrar que, tot i la possible simplicitat de l’algorisme “*greedy*” proposat, és una eina molt eficaç per resoldre aquest tipus de problemes amb un ventall de solucions tant ampli.

D’aquesta forma s’ha creat un algorisme ràpid i fiable que permet empaquetar una llarga llista d’articles de diferents tipus en un temps d’execució acceptable. És ideal pel cas que té lloc en el Centre Logístic de Sant Boi de Llobregat, de l’empresa Schneider Electric, on es poden generar grans entregues amb molts articles diferents.

Les futures línies de treball recomanades segueixen els camins següents:

- Mantenint l’algorisme creat, mirar de trobar solucions alternatives mitjançant l’optimització local, a partir de veïnatge, on es millorin els resultats fent canvis entre els articles de les caixes de la solució original.

- Resoldre el mateix problema mitjançant metaheurístiques, de forma que es pugui explorar més d'una única solució, variant les decisions que es prenen durant l'algorisme. El cas més senzill seria evolucionar l'algorisme "greedy" actual a un GRASP, de forma que no sempre s'escollís l'opció màxima i així explorar altres possibles combinacions que al final millorin els resultats.
- Una línia més ambiciosa de treball consisteix en desenvolupar una nova família d'algorismes inspirades en els desenvolupats aquí que permeti determinar les posicions dels articles a les caixes.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

3Dbinpacking.com. [<http://v2.3dbinpacking.com/demo/main>, 11 de gener 2015]

ASTROKETTLE ALGORITHMS [<http://www.astrokettle.com/>, 23 de novembre 2014]

DUBE, E. i KANAVATHY, L. R. *Optimizing three-dimensional bin packing through simulation. Proceedings of the Sixth IASTED International Conference. Modelling, simulation and optimization.* 11-13 de Setembre 2006. Botswana.

CANAL EDUCA. *La carta del agua.* [<http://www.canaleduca.com/descargas/Materiales-y-recursos/Segundo-ciclo-de-ESO/Manos%20en%20el%20agua/Segunda-sesion/Cuestionario-consumo-indirecto%20Envases-manos.pdf>, 13 de gener 2015]

CARGAX. *Cotización Online de Transporte Marítimo de Mercancías.* [<http://www.cargax.com/>, 13 de gener 2015]

ENDESA DISTRIBUCIÓN.

[<http://www.endesadistribucion.es/es/Averias/Paginas/cuadrosmando.aspx>, 18 de novembre 2014]

EUROPA PRESS. *Schneider convierte su centro logístico de Sant Boi en el más grande de la compañía.* 16 de octubre 2012.

[<http://www.europapress.es/catalunya/noticia-schneider-convierte-centro-logistico-sant-boi-mas-grande-compania-20121016190740.html>, 30 de setembre 2014]

FERNÁNDEZ-BAÑOS MARÍN, I. *Programación de la secuencia de fabricación en una máquina, con tiempos de preparación variables, mediante la aplicación de Algoritmos Genéticos.* Proyecto fin de carrera de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2003.

FLESZAR, K. *2BP - two-dimensional bin packing.* [<http://staff.aub.edu.lb/~kf09/research.htm>, 23 de novembre 2014]



GEORGE, J.A. i ROBINSON, D.F. *A heuristic for packing boxes into a container. Computers and Operations Research*. Vol. 7(3), 1980, pàgs. 147-156.

GRACIA CALANDÍN, C. P. *Métodos y Algoritmos para resolver problemas de Corte unidimensional en entornos realistas. Aplicación a una empresa del Sector Siderúrgico*. Tesis Doctoral de la Universidad Politécnica de Valencia. València, 2010.

JANKOVIC, M. *Genetic Algorithm for Bin Packing Problem*. CodeProject, 2013. [<http://www.codeproject.com/Articles/633133/ga-bin-packing>]

LODI, A. et al. *Heuristic algorithms for the three-dimensional bin packing problem. European Journal of Operational Research*. Vol. 141, 2002, pàgs. 410–420.

MORALES, E. *Búsqueda, Optimización y Aprendizaje*. Mimeo, 1999.

MORENO JUEZ, J.M. et al. *Entorno de simulación de la gestión de una FPGA bidimensional, parte de un sistema computador de propósito general basado en HW*. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Informática. 2002.

SCHNEIDER ELECTRIC. *Modelos de innovación Schneider Electric. Modelos de Innovación : el proceso de Creación de Oferta*. 2009.

SCHNEIDER ELECTRIC. *Schneider Electric Histroy Brands*. França, 2005a.

SCHNEIDER ELECTRIC. *Schneider Packing Plan Technical Information Presentation*. 2005b.

SWEEP, S. *Three Dimensional Bin-Packing Issues and Solutions*. Mimeo. University of Minnesota. 2003.

VIURE SANT BOI. *La multinacional ProLogis construye un gran parque logístico de 115.000 m² en Sant Boi*. Novembre 2001. [<http://www.santboi.org/viure/novembre/xpagina03b.pdf>, 30 de setembre 2014]

Bibliografia complementària

GARCÍA SABATER, J.P. i BRAVO REIG, G. *Manual de Visual Basic para Excel*. Universidad Politécnica de Valencia. 2003. [Manual útil per aprendre programació en Visual Basic]

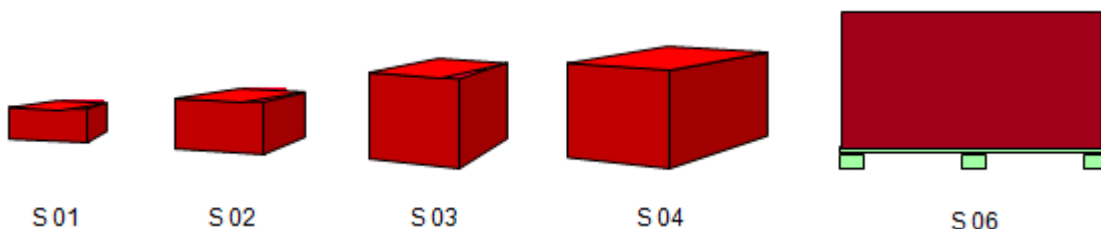



Agraïments

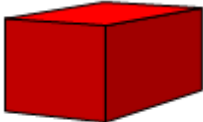
Voldria agrair la direcció del professor Manel Mateo Doll i la seva ajuda i disponibilitat al llarg del desenvolupament del treball.


Aquest treball s'ha beneficiat de l'estada al departament d'Operacions del centre logístic de Sant Boi de Llobregat de l'empresa Schneider Electric. Vull agrair especialment l'atenció de la senyora Maria Canals, dels senyors Enrique Rojas i Francisco Latorre, i de la resta de companys de departament.

Annex A. Especificacions tècniques dels tipus de caixa

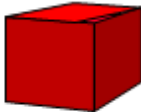


S01  Ext. dim: 398x148x150
Ext. volume: 8.83 litres
Int. dim: 378x127x139
Int. volume: 6.67 litres

S04  Ext. dim: 598x397x300
Ext. volume: 71.22 litres
Int. dim: 574x373x285
Int. volume: 61.01 litres

S02  Ext. dim: 398x299x150
Ext. volume: 17.85 litres
Int. dim: 374x273x135
Int. volume: 13.78 litres

S06  Ext. dim: 800x600x735
Ext. volume: 352 litres
Int. dim: 735x535x575
Int. volume: 226 litres

S03  Ext. dim: 398x299x300
Ext. volume: 35.70 litres
Int. dim: 374x273x285
Int. volume: 29.09 litres

Internal volume = theoretical volume

S01 to S04 tolerances
Ext. dim.: + 0 - 2 mm
Int. Dim.: +/- 2 mm

S01 Technical Data



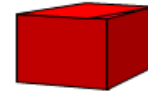
■ External dimensions	L = 398 mm x B = 148 mm x H = 150 mm (+ 0 - 2 mm)
■ Internal dimensions	L = 378 mm x B = 127 mm x H = 139 mm (+/- 2 mm)
■ External volume	8.83 litres
■ Internal volume	6.67 litres
■ Cover	
• Type	B 20
• External covering	Test 180
• Internal fluting	C 112
• Internal covering	Brun 190
■ Base	FEFCO 0215 without the upper flaps
• Type	EB 30
• External covering	Kraft 175
• External fluting	C 100
• Median	C 100
• Internal fluting	C 100
• Internal covering	Kraft 175
■ Maximum gross weight per container	5 kg
■ Average own weight (base + cover)	235 grams
■ Minimum VCR requirement	240 daN
<small>(As in French standard NFH13001, after 48-hour packaging at 30°C and 85 % relative humidity)</small>	

S02 Technical data



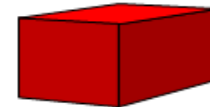
■ External dimensions	L = 398 mm x B = 299 mm x H = 150 mm (+ 0 - 2 mm)
■ Internal dimensions	L = 374 mm x B = 273 mm x H = 135 mm (+/- 2 mm)
■ External volume	17.85 litres
■ Internal volume	13.78 litres
■ Cover	
• Type	B 40
• External covering	Test 240
• Internal fluting	C 112
• Internal covering	Test 240
■ Base	FEFCO 0215 without the upper flaps
• Type	BC 60
• External covering	Kraft 200
• External fluting	C 140
• Median	Test 180
• Internal fluting	C 140
• Internal covering	Kraft 200
■ Maximum gross weight per container	10 kg
■ Average own weight (base + cover)	515 grams
■ Minimum VCR requirement	480 daN
<small>(As in French standard NFH13001, after 48-hour packaging at 30°C and 85 % relative humidity)</small>	

S03 Technical Data



■ External dimensions	L = 398 mm x B = 299 mm x H = 300 mm (+ 0 - 2 mm)
■ Internal dimensions	L = 374 mm x B = 273 mm x H = 285 mm (+/- 2 mm)
■ External volume	35.70 litres
■ Internal volume	29.09 litres
■ Cover	
• Type	B 40
• External covering	Test 240
• Internal fluting	C 112
• Internal covering	Test 240
■ Base	FEFCO 0215 without the upper flaps
• Type	BC 70
• External covering	Kraft 200
• External fluting	C 180
• Median	Test 180
• Internal fluting	C 180
• Internal covering	Kraft 200
■ Maximum gross weight per container	20 kg
■ Average own weight (base + cover)	640 grams
■ Minimum VCR requirement	365 daN
<small>(As in French standard NFH13001, after 48-hour packaging at 30°C and 85 % relative humidity)</small>	

S04 Technical Data



■ External dimensions	L = 598 mm x B = 397 mm x H = 300 mm (+ 0 - 2 mm)
■ Internal dimensions	L = 574 mm x B = 373 mm x H = 285 mm (+/- 2 mm)
■ External volume	71.22 litres
■ Internal volume	61.01 litres
■ Cover	
• Type	EB 40
• External covering	Test 240
• External fluting	C 90
• Median	C 90
• Internal fluting	C 100
• Internal covering	Test 180
■ Base	FEFCO 0215 without the upper flaps
• Type	BC 70
• External covering	Kraft 200
• External fluting	C 180
• Median	Test 180
• Internal fluting	C 180
• Internal covering	Kraft 200
■ Maximum gross weight per container	25 kg
■ Average own weight (base + cover)	1 170 grams
■ Minimum VCR requirement	425 daN
<small>(As in French standard NFH13001, after 48-hour packaging at 30°C and 85 % relative humidity)</small>	

Annex B. Comprovació resultats Algorisme 1

Per realitzar la comprovació dels resultats del Programa 1 s'ha escollit una mostra de 5 articles, els parells de la llista proporcionada en l'apartat 11.1.2. de la memòria. Només s'han comprovat les caixes en les que es pot introduir alguna unitat de l'article, ja que, degut als procediments que utilitza l'algorisme, es pot assegurar la certesa dels resultats que indiquen que no es pot introduir cap unitat.

Article 2 – Caixa S04

Bins ?

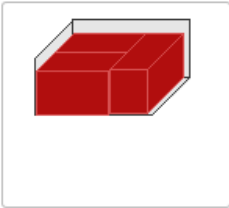
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	574	285	373	0

Add bin **Remove bin**

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	212	185	351	3	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item **Remove item**



Dimensions:
Width: 574
Height: 285
Depth: 373
Weight: 0

Packed items: 3
Space taken: 67.6816 %

Article 2 – Caixa S03

Bins ?

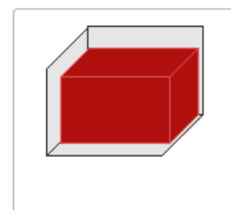
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	285	273	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	212	185	351	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:

Width: 374
 Height: 285
 Depth: 273
 Weight: 0

Packed items: 1

Space taken: 47.3081 %

Article 4 – Caixa S04

Bins ?

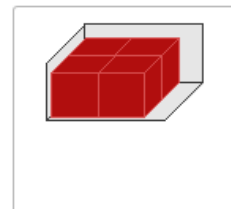
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	574	285	373	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	212	223	164	4	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:

Width: 574
 Height: 285
 Depth: 373
 Weight: 0

Packed items: 4

Space taken: 50.8252 %

Article 4 – Caixa S03

Bins ?

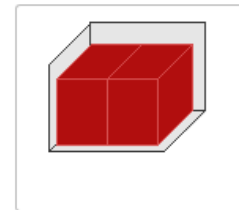
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	285	273	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	212	223	164	2	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:

Width: 374
 Height: 285
 Depth: 273
 Weight: 0

Packed items: 2

Space taken: 53.2887 %

Article 6 – Caixa S04

Bins ?

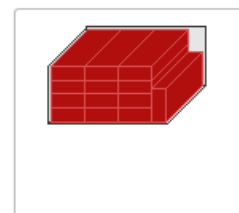
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	574	285	373	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	357	159	67	13	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:

Width: 574
 Height: 285
 Depth: 373
 Weight: 0

Packed items: 13

Space taken: 81.0248 %

Article 6 – Caixa S03

Bins ?

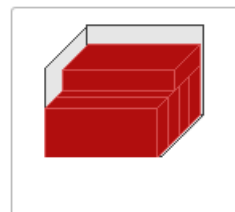
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	285	273	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	357	159	67	5	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:

Width: 374
 Height: 285
 Depth: 273
 Weight: 0

Packed items: 5

Space taken: 65.3478 %

Article 6 – Caixa S02

Bins ?

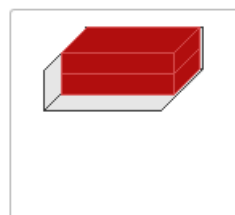
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	135	273	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	357	159	67	2	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:

Width: 374
 Height: 135
 Depth: 273
 Weight: 0

Packed items: 2

Space taken: 55.1826 %

Article 8 – Caixa S04

Bins ?

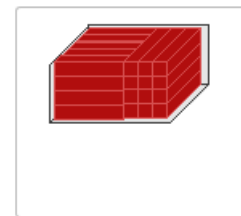
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	574	285	373	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	321	67	67	32	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:

Width: 574
 Height: 285
 Depth: 373
 Weight: 0

Packed items: 32

Space taken: 75.5682 %

Article 8 – Caixa S03

Bins ?

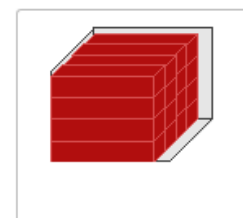
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	285	273	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	321	67	67	16	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:

Width: 374
 Height: 285
 Depth: 273
 Weight: 0

Packed items: 16

Space taken: 79.2311 %

Article 8 – Caixa S02

Bins ?

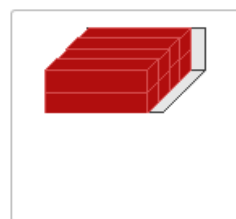
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	135	273	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	321	67	67	8	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:

Width: 374
 Height: 135
 Depth: 273
 Weight: 0

Packed items: 8

Space taken: 83.6328 %

Article 8 – Caixa S01

Bins ?

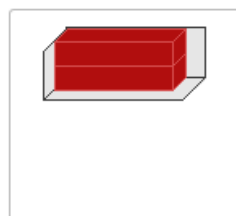
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	378	139	127	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	321	67	67	2	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:

Width: 378
 Height: 139
 Depth: 127
 Weight: 0

Packed items: 2

Space taken: 43.1891 %

Article 10 – Caixa S04

Bins ?

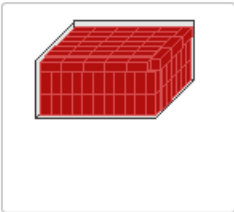
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	574	285	373	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	102	50	48	192	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:
 Width: 574
 Height: 285
 Depth: 373
 Weight: 0

Packed items: 192

Space taken: 77.0277 %

Article 10 – Caixa S03

Bins ?

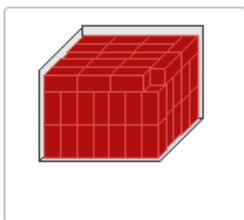
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	285	273	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	102	50	48	87	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:
 Width: 374
 Height: 285
 Depth: 273
 Weight: 0

Packed items: 87

Space taken: 73.19 %

Article 10 – Caixa S02

Bins ?

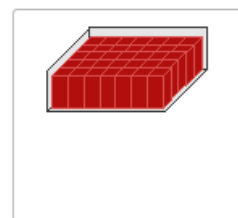
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	135	273	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	102	50	48	35	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:
 Width: 374
 Height: 135
 Depth: 273
 Weight: 0

Packed items: 35
Space taken: 62.1601 %

Article 10 – Caixa S01

Bins ?

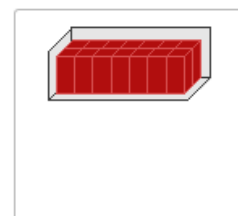
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	378	139	127	0

Add bin
Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
0	102	50	48	14	0	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item
Remove item



Dimensions:
 Width: 378
 Height: 139
 Depth: 127
 Weight: 0

Packed items: 14
Space taken: 51.3605 %

Annex C. Resultats Algorisme 2+3

En executar l'Algorisme 2+3, primerament els articles s'ordenen i poden variar de la posició original. Així doncs, és necessari mostrar la posició final dels articles per poder interpretar els resultats, ja que serà la posició que s'utilitzarà per assignar els articles a les caixes. Per això, per a cada simulació s'incorporarà una imatge de la posició final dels articles, ja que les diferències entre les variants no afecten a l'ordenació dels articles.

C.1. Simulació 1: tots els tipus d'article i una unitat de cada tipus

	x (mm)	y (mm)	z (mm)	Volum (dm ³)	Massa (kg)	nº articles
1	525	362	131	24,897	16,826	1
2	531	193	176	18,037	13,791	1
3	379	201	154	11,732	6,865	1
4	456	123	98	5,497	3,748	1
5	376	87	87	2,846	1,731	1
6	351	212	185	13,766	9,383	1
7	357	159	67	3,803	2,301	1
8	263	189	76	3,778	1,988	1
9	254	178	74	3,346	3,345	1
10	274	203	57	3,17	1,955	1
11	222	123	104	2,84	2,839	1
12	258	111	75	2,148	2,747	1
13	212	103	86	1,879	1,977	1
14	321	67	67	1,441	2,44	1
15	111	100	97	1,077	1,776	1
16	234	72	56	0,943	0,543	1
17	120	96	70	0,806	0,806	1
18	148	65	47	0,452	0,452	1
19	102	50	48	0,245	0,247	1
20	73	59	45	0,194	0,193	1



Algorisme 2A/2B

Caixes	Unit. Ant. 1	Unit. Ant. 2	Unit. Ant. 3	Unit. Ant. 4	Unit. Ant. 5	Unit. Ant. 6	Unit. Ant. 7	Unit. Ant. 8	Unit. Ant. 9	Unit. Ant. 10	Unit. Ant. 11	Unit. Ant. 12	Unit. Ant. 13	Unit. Ant. 14	Unit. Ant. 15	Unit. Ant. 16	Unit. Ant. 17	Unit. Ant. 18	Unit. Ant. 19	Unit. Ant. 20	% Volum	% Massa
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	63%	100%
2	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	52%	97%
3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	63%	61%
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	50%	73%

%Mg 57%

Algorisme 2C/2D

Caixes	Unit. Ant. 1	Unit. Ant. 2	Unit. Ant. 3	Unit. Ant. 4	Unit. Ant. 5	Unit. Ant. 6	Unit. Ant. 7	Unit. Ant. 8	Unit. Ant. 9	Unit. Ant. 10	Unit. Ant. 11	Unit. Ant. 12	Unit. Ant. 13	Unit. Ant. 14	Unit. Ant. 15	Unit. Ant. 16	Unit. Ant. 17	Unit. Ant. 18	Unit. Ant. 19	Unit. Ant. 20	% Volum	% Massa
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	63%	100%
2	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	52%	97%
3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	74%	71%
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	39%	63%

%Mg 57%

84%

C.2. Simulació 2: tots els tipus d'articles i dues unitats de cada tipus

	x (mm)	y (mm)	z (mm)	Volum (dm ³)	Massa (kg)	nº articles
1	525	362	131	24,897	16,826	2
2	531	193	176	18,037	13,791	2
3	379	201	154	11,732	6,865	2
4	456	123	98	5,497	3,748	2
5	376	87	87	2,846	1,731	2
6	351	212	185	13,766	9,383	2
7	357	159	67	3,803	2,301	2
8	263	189	76	3,778	1,988	2
9	254	178	74	3,346	3,345	2
10	274	203	57	3,17	1,955	2
11	222	123	104	2,84	2,839	2
12	258	111	75	2,148	2,747	2
13	212	103	86	1,879	1,977	2
14	321	67	67	1,441	2,44	2
15	111	100	97	1,077	1,776	2
16	234	72	56	0,943	0,543	2
17	120	96	70	0,806	0,806	2
18	148	65	47	0,452	0,452	2
19	102	50	48	0,245	0,247	2
20	73	59	45	0,194	0,193	2



Algorisme 2A/2B

Càrries	Unit. Act. 1	Unit. Act. 2	Unit. Act. 3	Unit. Act. 4	Unit. Act. 5	Unit. Act. 6	Unit. Act. 7	Unit. Act. 8	Unit. Act. 9	Unit. Act. 10	Unit. Act. 11	Unit. Act. 12	Unit. Act. 13	Unit. Act. 14	Unit. Act. 15	Unit. Act. 16	Unit. Act. 17	Unit. Act. 18	Unit. Act. 19	Unit. Act. 20	% Volum	% Massa
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	62%	99%
2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	63%	99%
3	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57%	98%
4	0	1	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61%	99%
5	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70%	80%
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58%	57%
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	1	0	2	0	0	0	56%	93%
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	14%	33%

% Mg: 57% 84%

Algorisme 2C/2D

Càrries	Unit. Act. 1	Unit. Act. 2	Unit. Act. 3	Unit. Act. 4	Unit. Act. 5	Unit. Act. 6	Unit. Act. 7	Unit. Act. 8	Unit. Act. 9	Unit. Act. 10	Unit. Act. 11	Unit. Act. 12	Unit. Act. 13	Unit. Act. 14	Unit. Act. 15	Unit. Act. 16	Unit. Act. 17	Unit. Act. 18	Unit. Act. 19	Unit. Act. 20	% Volum	% Massa
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	62%	99%
2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	63%	99%
3	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57%	98%
4	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57%	100%
5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77%	85%
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72%	77%
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	47%	76%
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	43%	98%

% Mg: 61% 82%

C.3. Simulació 3: tots els tipus d'articles en unitats creixents d'1 en 1

	x (mm)	y (mm)	z (mm)	Volum (dm ³)	Massa (kg)	nº articles
1	525	362	131	24,897	16,826	1
2	531	193	176	18,037	13,791	2
3	379	201	154	11,732	6,865	4
4	456	123	98	5,497	3,748	5
5	376	87	87	2,846	1,731	10
6	351	212	185	13,766	9,383	3
7	357	159	67	3,803	2,301	6
8	263	189	76	3,778	1,988	7
9	254	178	74	3,346	3,345	8
10	274	203	57	3,17	1,955	9
11	222	123	104	2,84	2,839	11
12	258	111	75	2,148	2,747	12
13	212	103	86	1,879	1,977	13
14	321	67	67	1,441	2,44	14
15	111	100	97	1,077	1,776	15
16	234	72	56	0,943	0,543	16
17	120	96	70	0,806	0,806	17
18	148	65	47	0,452	0,452	18
19	102	50	48	0,245	0,247	19
20	73	59	45	0,194	0,193	20

Algorisme 2A/2B

Caberes	Unit. Ant. 1	Unit. Ant. 2	Unit. Ant. 3	Unit. Ant. 4	Unit. Ant. 5	Unit. Ant. 6	Unit. Ant. 7	Unit. Ant. 8	Unit. Ant. 9	Unit. Ant. 10	Unit. Ant. 11	Unit. Ant. 12	Unit. Ant. 13	Unit. Ant. 14	Unit. Ant. 15	Unit. Ant. 16	Unit. Ant. 17	Unit. Ant. 18	Unit. Ant. 19	Unit. Ant. 20	% Volum	% Massa
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	62%	58%
2	0	1	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	56%	100%
3	0	1	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	58%	100%
4	0	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	68%	93%
5	0	0	1	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	57%	93%
6	0	0	0	1	2	0	0	7	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	67%	100%
7	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	78%	90%
8	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	79%	90%
9	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	79%	90%
10	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	83%	98%
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	76%	100%
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	1	0	67%	100%
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	1	0	64%	100%
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	56%	100%
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	0	0	2	0	0	1	0	66%	93%
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	0	0	0	0	1	0	53%	93%
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3	0	0	0	0	0	41%	100%
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2	5	1	0	0	52%	100%
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	5	8	54%	73%

% Mes 64% 37%

Algorisme 2C/2D

Caberes	Unit. Ant. 1	Unit. Ant. 2	Unit. Ant. 3	Unit. Ant. 4	Unit. Ant. 5	Unit. Ant. 6	Unit. Ant. 7	Unit. Ant. 8	Unit. Ant. 9	Unit. Ant. 10	Unit. Ant. 11	Unit. Ant. 12	Unit. Ant. 13	Unit. Ant. 14	Unit. Ant. 15	Unit. Ant. 16	Unit. Ant. 17	Unit. Ant. 18	Unit. Ant. 19	Unit. Ant. 20	% Volum	% Massa
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	62%	93%
2	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	55%	100%
3	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	55%	100%
4	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	53%	93%
5	0	0	1	4	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	2	0	1	0	1	64%	100%
6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	81%	77%
7	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	81%	77%
8	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	81%	77%
9	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	11	0	1	86%	96%
10	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	74%	89%
11	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	76%	100%
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	4	0	0	0	1	0	0	76%	100%
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	1	67%	100%
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	68%	93%
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	3	0	0	68%	93%
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	1	0	0	0	1	56%	100%
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	1	0	66%	100%
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	5	0	1	0	0	55%	93%
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	41%	100%
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	2	0	0	0	46%	100%

% Mes 64% 94%



C.4. Simulació 4: articles de volum major a 3 dm³ en unitats creixents de 2 en 2

	x (mm)	y (mm)	z (mm)	Volum (dm ³)	Massa (kg)	nº articles
1	525	362	131	24,897	16,826	2
2	531	193	176	18,037	13,791	4
3	379	201	154	11,732	6,865	8
4	456	123	98	5,497	3,748	10
5	351	212	185	13,766	9,383	6
6	357	159	67	3,803	2,301	12
7	263	189	76	3,778	1,988	14
8	254	178	74	3,346	3,345	16
9	274	203	57	3,17	1,955	18

Algorisme 2A/2B

Caixes	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	Unit. Art. 7	Unit. Art. 8	Unit. Art. 9	% Volum	% Massa	
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	60%	95%	S04
2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	60%	95%	S04
3	0	1	0	1	0	3	0	0	0	57%	98%	S04
4	0	1	0	1	0	3	0	0	0	57%	98%	S04
5	0	1	0	1	0	3	0	0	0	57%	98%	S04
6	0	1	0	1	0	3	0	0	0	57%	98%	S04
7	0	0	2	0	0	0	5	0	0	63%	95%	S04
8	0	0	2	0	0	0	5	0	0	63%	95%	S04
9	0	0	0	4	0	0	4	0	0	61%	92%	S04
10	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	80%	
11	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	80%	
12	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	80%	
13	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	80%	
14	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	80%	
15	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	80%	
16	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	80%	
17	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	80%	
18	0	0	0	0	1	0	0	0	1	58%	57%	
19	0	0	0	0	1	0	0	0	1	58%	57%	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	7	76%	68%	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	7	76%	68%	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	2	46%	33%	S02

% Mig 64% 84%

Algorisme 2C/2D

Caixes	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	Unit. Art. 7	Unit. Art. 8	Unit. Art. 9	% Volum	% Massa	
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	60%	95%	S04
2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	60%	95%	S04
3	0	1	1	0	0	1	1	0	0	61%	100%	S04
4	0	1	1	0	0	1	1	0	0	61%	100%	S04
5	0	1	1	0	0	1	1	0	0	61%	100%	S04
6	0	1	1	0	0	1	1	0	0	61%	100%	S04
7	0	0	0	6	0	1	0	0	0	60%	99%	S04
8	0	0	0	2	1	0	4	0	0	65%	99%	S04
9	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	67%	
10	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	67%	
11	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	67%	
12	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	67%	
13	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	67%	
14	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	67%	
15	0	0	0	0	1	0	0	1	1	70%	73%	
16	0	0	0	0	1	0	0	1	1	70%	73%	
17	0	0	0	0	1	0	0	1	1	70%	73%	
18	0	0	0	0	0	5	0	0	0	65%	58%	
19	0	0	0	0	0	2	0	2	0	49%	56%	
20	0	0	0	0	0	0	0	5	1	68%	93%	
21	0	0	0	0	0	0	0	5	1	68%	93%	
22	0	0	0	0	0	0	0	1	3	44%	46%	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	4	44%	33%	

% Mig 63% 80%



C.5. Simulació 5: articles de volum menor a 3 dm³ en unitats creixents de 5 en 5

	x (mm)	y (mm)	z (mm)	Volum (dm ³)	Massa (kg)	nº articles
1	376	87	87	2,846	1,731	5
2	222	123	104	2,84	2,839	10
3	258	111	75	2,148	2,747	15
4	212	103	86	1,879	1,977	20
5	321	67	67	1,441	2,44	25
6	111	100	97	1,077	1,776	30
7	234	72	56	0,943	0,543	35
8	120	96	70	0,806	0,806	40
9	148	65	47	0,452	0,452	45
10	102	50	48	0,245	0,247	50
11	73	59	45	0,194	0,193	55

Algorisme 2A/2B

Caixes	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	Unit. Art. 7	Unit. Art. 8	Unit. Art. 9	Unit. Art. 10	Unit. Art. 11	% Volum	% Massa	
1	5	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	50%	99%	S04
2	0	5	2	0	0	0	0	0	0	1	0	64%	100%	
3	0	0	7	0	0	0	1	0	0	0	1	56%	100%	
4	0	0	6	1	0	0	2	0	0	1	1	59%	100%	
5	0	0	0	9	0	0	4	0	0	0	0	71%	100%	
6	0	0	0	9	0	0	4	0	0	0	0	71%	100%	
7	0	0	0	0	8	0	0	0	1	0	0	41%	100%	
8	0	0	0	0	8	0	0	0	1	0	0	41%	100%	
9	0	0	0	0	8	0	0	0	1	0	0	41%	100%	
10	0	0	0	0	1	9	2	0	1	0	0	46%	100%	
11	0	0	0	0	0	11	0	0	1	0	0	42%	100%	
12	0	0	0	0	0	10	4	0	0	0	0	50%	100%	
13	0	0	0	0	0	0	18	0	11	0	3	77%	77%	
14	0	0	0	0	0	0	0	24	1	0	1	69%	100%	
15	0	0	0	0	0	0	0	16	15	1	0	68%	100%	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	13	47	13	68%	100%	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	51%	69%	S02

% Mig 57% 97%

Algorisme 2C/2D

Caixes	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	Unit. Art. 7	Unit. Art. 8	Unit. Art. 9	Unit. Art. 10	Unit. Art. 11	% Volum	% Massa	
1	5	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	50%	99%	S04
2	0	5	2	0	0	0	0	0	0	1	0	64%	100%	
3	0	0	7	0	0	0	1	0	0	0	1	56%	100%	
4	0	0	6	0	0	1	3	0	0	0	0	58%	99%	
5	0	0	0	9	0	0	4	0	0	0	0	71%	100%	
6	0	0	0	9	0	0	4	0	0	0	0	71%	100%	
7	0	0	0	1	0	9	1	1	1	0	1	48%	100%	
8	0	0	0	0	8	0	0	0	1	0	0	41%	100%	
9	0	0	0	0	8	0	0	0	1	0	0	41%	100%	
10	0	0	0	0	8	0	0	0	1	0	0	41%	100%	
11	0	0	0	0	1	8	4	0	2	1	0	51%	100%	
12	0	0	0	0	0	11	0	0	1	0	0	42%	100%	
13	0	0	0	0	0	1	18	1	6	0	2	75%	77%	
14	0	0	0	0	0	0	0	24	1	0	1	69%	100%	
15	0	0	0	0	0	0	0	14	19	0	0	68%	99%	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	12	48	14	68%	100%	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	51%	69%	S02

% Mig 57% 97%



Annex D. Comprovació resultats Algorisme 2+3

Degut a que el procés de comprovació és molt llarg, només es mirarà aquella caixa que tingui el percentatge de volum màxim de cada anàlisi i que superi el 75%.

Simulació 2 – Algorisme 2C/2D - Caixa 5 (S03) – 77%

Bins ?

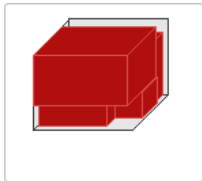
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	285	273	20

Add bin **Remove bin**

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
6	351	212	185	1	9.383	<input checked="" type="checkbox"/>
9	254	178	74	1	3.345	<input checked="" type="checkbox"/>
10	274	203	57	1	1.955	<input checked="" type="checkbox"/>
15	111	100	97	1	1.776	<input checked="" type="checkbox"/>
16	234	72	56	1	0.543	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item **Remove item**



Dimensions:
Width: 374
Height: 285
Depth: 273
Weight: 17.002

Packed items: 5
Space taken: 76.6435 %
Weight taken: 85.01 %

Simulació 3 – Algorisme 2A/2B - Caixa 10 (S03) – 83%

Bins ?

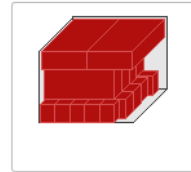
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	285	273	20

Add bin Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
9	254	178	74	2	3.345	<input checked="" type="checkbox"/>
10	274	203	57	4	1.955	<input checked="" type="checkbox"/>
12	258	111	75	1	2.747	<input checked="" type="checkbox"/>
16	234	72	56	1	0.543	<input checked="" type="checkbox"/>
20	73	59	45	9	0.193	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item Remove item



Dimensions:

Width: 374
 Height: 285
 Depth: 273
 Weight: 16.247

Packed items: 15

Space taken: 72.5711 %

Weight taken: 81.235 %

Weight taken: 85.01 %

Items not packed:

Id:12 pcs.:1

Id:16 pcs.:1

Simulació 3 – Algorisme 2C/2D - Caixa 9 (S03) – 88%

Bins ?

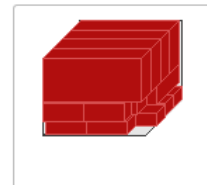
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	285	273	20

Add bin Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
7	357	159	67	5	2.301	<input checked="" type="checkbox"/>
14	321	67	67	1	2.44	<input checked="" type="checkbox"/>
18	148	65	47	11	0.452	<input checked="" type="checkbox"/>
20	73	59	45	1	0.193	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item Remove item



Dimensions:

Width: 374
 Height: 285
 Depth: 273
 Weight: 19.11

Packed items: 18

Space taken: 88.0576 %

Weight taken: 95.55 %



Simulació 4 – Algorisme 2A/2B - Caixa 20 (S03) – 76%

Bins ?

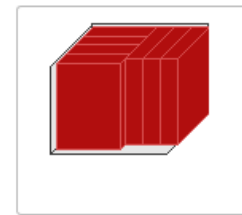
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	285	273	20

Add bin Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
9	274	203	57	7	1.955	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item Remove item



Dimensions:

Width: 374
 Height: 285
 Depth: 273
 Weight: 13.685

Packed items: 7

Space taken: 76.2677 %

Weight taken: 68.425 %

Simulació 5 – Algorisme 2A/2B - Caixa 13 (S03) – 77%

Bins ?

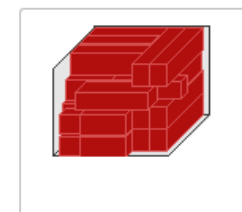
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	285	273	20

Add bin Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
7	234	72	56	18	0.543	<input checked="" type="checkbox"/>
9	148	65	47	11	0.452	<input checked="" type="checkbox"/>
11	73	59	45	3	0.193	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item Remove item



Dimensions:

Width: 374
 Height: 285
 Depth: 273
 Weight: 15.325

Packed items: 32

Space taken: 77.4519 %

Weight taken: 76.625 %

Simulació 5 – Algorisme 2C/2D - Caixa 13 (S03) – 75%

Bins ?

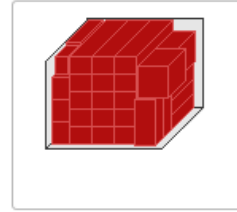
Id	Width	Height	Depth	Weight
0	374	285	273	20

Add bin Remove bin

Items ?

Id	Width	Height	Depth	Qty	Weight	Vert. rot.
6	111	100	97	1	1.776	<input checked="" type="checkbox"/>
7	234	72	56	18	0.543	<input checked="" type="checkbox"/>
8	120	96	70	1	0.806	<input checked="" type="checkbox"/>
9	148	65	47	6	0.452	<input checked="" type="checkbox"/>
11	73	59	45	1	0.193	<input checked="" type="checkbox"/>

Add item Remove item



Dimensions:

Width: 374
 Height: 285
 Depth: 273
 Weight: 15.261

Packed items: 27

Space taken: 74.8221 %

Weight taken: 76.305 %

Annex E. Resultats Algorisme 2+3 sense massa dels articles

En aquest cas, com també s'utilitza l'Algorisme 2, primerament els articles s'ordenen i poden variar de la posició original. Tot i això, al haver utilitzat les mateixes simulacions que per analitzar l'Algorisme 2+3 tenint en compte la massa dels articles, l'ordenació prèvia serà la mateixa ja que es realitza per volum. Per tant, les posicions dels articles seran les mateixes que en l'Annex E per a cada simulació respectivament.

E.1. Simulació 1: tots els tipus d'article i una unitat de cada tipus

Algorisme 2A/2B

Caixes	Un. Ant. 1	Un. Ant. 2	Un. Ant. 3	Un. Ant. 4	Un. Ant. 5	Un. Ant. 6	Un. Ant. 7	Un. Ant. 8	Un. Ant. 9	Un. Ant. 10	Un. Ant. 11	Un. Ant. 12	Un. Ant. 13	Un. Ant. 14	Un. Ant. 15	Un. Ant. 16	Un. Ant. 17	Un. Ant. 18	Un. Ant. 19	Un. Ant. 20	% Volum	% Massa
1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	75%	0%
2	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57%	0%
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	55%	0%
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2%	0%

% Mg 57% 0%

Algorisme 2C/2D

Caixes	Un. Ant. 1	Un. Ant. 2	Un. Ant. 3	Un. Ant. 4	Un. Ant. 5	Un. Ant. 6	Un. Ant. 7	Un. Ant. 8	Un. Ant. 9	Un. Ant. 10	Un. Ant. 11	Un. Ant. 12	Un. Ant. 13	Un. Ant. 14	Un. Ant. 15	Un. Ant. 16	Un. Ant. 17	Un. Ant. 18	Un. Ant. 19	Un. Ant. 20	% Volum	% Massa
1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	73%	0%
2	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	68%	0%
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47%	0%
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43%	0%

% Mg 65% 0%

E.2. Simulació 2: tots els tipus d'articles i dues unitats de cada tipus

Algorisme 2A/2B

Caixes	Un. Ant. 1	Un. Ant. 2	Un. Ant. 3	Un. Ant. 4	Un. Ant. 5	Un. Ant. 6	Un. Ant. 7	Un. Ant. 8	Un. Ant. 9	Un. Ant. 10	Un. Ant. 11	Un. Ant. 12	Un. Ant. 13	Un. Ant. 14	Un. Ant. 15	Un. Ant. 16	Un. Ant. 17	Un. Ant. 18	Un. Ant. 19	Un. Ant. 20	% Volum	% Massa
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	85%	0%
2	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77%	0%
3	0	0	2	0	0	0	1	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	74%	0%
4	0	0	0	2	0	2	0	0	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	84%	0%
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	36%	0%

% Mg 75% 0%

Algorisme 2C/2D

Caixes	Un. Ant. 1	Un. Ant. 2	Un. Ant. 3	Un. Ant. 4	Un. Ant. 5	Un. Ant. 6	Un. Ant. 7	Un. Ant. 8	Un. Ant. 9	Un. Ant. 10	Un. Ant. 11	Un. Ant. 12	Un. Ant. 13	Un. Ant. 14	Un. Ant. 15	Un. Ant. 16	Un. Ant. 17	Un. Ant. 18	Un. Ant. 19	Un. Ant. 20	% Volum	% Massa
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	84%	0%
2	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	76%	0%
3	0	0	2	0	0	1	1	0	0	1	0	2	0	2	0	1	0	1	0	1	84%	0%
4	0	0	0	2	0	1	0	2	2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	73%	0%
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	41%	0%

% Mg 75% 0%

E.3. Simulació 3: tots els tipus d'articles en unitats creixents d'1 en 1

Algorisme 2A/2B

Caixas	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	Unit. Art. 7	Unit. Art. 8	Unit. Art. 9	Unit. Art. 10	Unit. Art. 11	Unit. Art. 12	Unit. Art. 13	Unit. Art. 14	Unit. Art. 15	Unit. Art. 16	Unit. Art. 17	Unit. Art. 18	Unit. Art. 19	Unit. Art. 20	Z. Volum	Z. Massa	
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3%	0%
2	0	2	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	85%	0%
3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	2	3	1	0	84%	0%
4	0	0	1	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	6	0	2	0	1	0	1	83%	0%
5	0	0	0	2	4	0	0	3	1	0	0	2	1	1	0	1	1	1	3	0	3	77%	0%
6	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	79%	0%
7	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	79%	0%
8	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0	79%	0%
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	1	0	0	4	0	0	0	9	0	81%	0%
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	0	4	0	0	2	2	0	0	0	86%	0%
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3	0	0	0	0	3	0	5	0	5	0	89%	0%
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	77%	0%
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	1	0	0	0	2	0	0	0	0	72%	0%
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	54%	0%
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	0	0	0	0	0	0	46%	0%

Algorisme 2C/2D

Caixas	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	Unit. Art. 7	Unit. Art. 8	Unit. Art. 9	Unit. Art. 10	Unit. Art. 11	Unit. Art. 12	Unit. Art. 13	Unit. Art. 14	Unit. Art. 15	Unit. Art. 16	Unit. Art. 17	Unit. Art. 18	Unit. Art. 19	Unit. Art. 20	Z. Volum	Z. Massa	
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	84%	0%
2	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82%	0%
3	0	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	2	0	2	0	2	0	0	0	86%	0%
4	0	0	1	4	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	79%	0%
5	0	0	0	1	5	0	4	3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	82%	0%
6	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	81%	0%
7	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	2	0	81%	0%
8	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	3	0	67%	0%
9	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	83%	0%
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	0	0	0	2	2	1	2	14	0	84%	0%
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	1	1	2	14	0	0	89%	0%
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	0	4	2	0	5	0	0	79%	0%
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	61%	0%
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	7	0	0	0	0	66%	0%
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	53%	0%
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	31%	0%

Z. Maq. 76% 0%



E.4. Simulació 4: articles de volum major a 3 dm³ en unitats creixents de 2 en 2

Algorisme 2A/2B

Caixes	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	Unit. Art. 7	Unit. Art. 8	Unit. Art. 9	% Volum	% Massa		
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	82%	0%	S04	
2	0	2	0	0	0	3	0	0	0	78%	0%	S04	
3	0	2	0	0	0	3	0	0	0	78%	0%	S04	
4	0	0	2	0	0	6	0	0	0	76%	0%	S04	
5	0	0	2	0	0	0	5	0	0	69%	0%	S04	
6	0	0	2	0	0	0	5	0	0	69%	0%	S04	
7	0	0	0	6	0	0	4	0	0	79%	0%	S04	
8	0	0	0	2	2	0	0	2	0	74%	0%	S04	
9	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	0%		
10	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	0%		
11	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	0%		
12	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	0%		
13	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	0%		
14	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	0%		
15	0	0	0	0	1	0	0	2	0	70%	0%		
16	0	0	0	0	1	0	0	0	1	58%	0%		
17	0	0	0	0	0	0	0	0	7	76%	0%		
18	0	0	0	0	0	0	0	0	7	76%	0%		
19	0	0	0	0	0	0	0	0	3	33%	0%		
											% Mig	72%	0%

Algorisme 2C/2D

Caixes	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	Unit. Art. 7	Unit. Art. 8	Unit. Art. 9	% Volum	% Massa		
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	82%	0%	S04	
2	0	2	0	0	0	2	0	0	0	72%	0%	S04	
3	0	2	0	0	0	2	0	0	0	72%	0%	S04	
4	0	0	2	0	1	1	0	0	1	72%	0%	S04	
5	0	0	2	0	1	1	0	0	1	72%	0%	S04	
6	0	0	2	0	1	1	0	0	1	72%	0%	S04	
7	0	0	0	6	0	3	0	0	0	73%	0%	S04	
8	0	0	0	2	1	0	4	0	0	65%	0%	S04	
9	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	0%		
10	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	0%		
11	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	0%		
12	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	0%		
13	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	0%		
14	0	0	0	0	1	0	1	0	1	71%	0%		
15	0	0	0	0	0	2	1	0	0	39%	0%		
16	0	0	0	0	0	0	3	2	1	73%	0%		
17	0	0	0	0	0	0	0	6	1	80%	0%		
18	0	0	0	0	0	0	0	6	1	80%	0%		
19	0	0	0	0	0	0	0	2	3	56%	0%		
20	0	0	0	0	0	0	0	0	3	33%	0%		
											% Mig	70%	0%

E.5. Simulació 5: articles de volum menor a 3 dm³ en unitats creixents de 5 en 5

Algorisme 2A/2B

Caixes	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	Unit. Art. 7	Unit. Art. 8	Unit. Art. 9	Unit. Art. 10	Unit. Art. 11	% Volum	% Massa
1	5	8	0	0	5	3	0	1	4	4	0	84%	0%
2	0	2	7	0	0	0	0	0	1	0	1	73%	0%
3	0	0	8	0	0	0	6	0	0	0	0	76%	0%
4	0	0	0	9	0	0	7	0	1	0	1	83%	0%
5	0	0	0	9	0	0	7	0	1	0	1	83%	0%
6	0	0	0	2	8	0	8	0	3	2	0	85%	0%
7	0	0	0	0	12	0	6	0	4	2	0	87%	0%
8	0	0	0	0	0	12	1	10	1	0	0	77%	0%
9	0	0	0	0	0	12	0	12	2	0	1	81%	0%
10	0	0	0	0	0	3	0	17	13	2	10	87%	0%
11	0	0	0	0	0	0	0	0	15	40	40	84%	0%
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3%	0%

% Mig 81% 0%

Algorisme 2C/2D

Caixes	Unit. Art. 1	Unit. Art. 2	Unit. Art. 3	Unit. Art. 4	Unit. Art. 5	Unit. Art. 6	Unit. Art. 7	Unit. Art. 8	Unit. Art. 9	Unit. Art. 10	Unit. Art. 11	% Volum	% Massa
1	5	6	6	0	1	0	3	0	2	6	3	84%	0%
2	0	4	3	0	0	0	4	0	5	0	1	83%	0%
3	0	0	6	3	0	0	4	0	6	0	2	87%	0%
4	0	0	0	9	0	0	7	0	1	4	1	86%	0%
5	0	0	0	8	0	0	7	1	1	4	3	84%	0%
6	0	0	0	0	16	0	0	0	6	0	2	90%	0%
7	0	0	0	0	8	6	1	0	2	0	5	72%	0%
8	0	0	0	0	0	12	9	1	2	0	1	80%	0%
9	0	0	0	0	0	12	0	10	3	0	6	81%	0%
10	0	0	0	0	0	0	0	28	3	1	4	86%	0%
11	0	0	0	0	0	0	0	0	14	35	27	63%	0%

% Mig 82% 0%

Annex F. Codi del Programa Algorisme 1

F.1. Mòdul 1. Empaquetar

```
Sub Botón1_Haga_clic_en()
'
' Botón1_Haga_clic_en Macro
'
'Determinar maxim nombre d'articles en cada tipus de caixa'
caixa = 3
Do While caixa <= 6
  u = Hoja1.Cells(caixa, 5)
  v = Hoja1.Cells(caixa, 6)
  w = Hoja1.Cells(caixa, 7)

  x = Hoja1.Cells(3, 1)
  y = Hoja1.Cells(3, 2)
  Z = Hoja1.Cells(3, 3)

  Hoja1.Cells(1, 11) = Int(u / x) * Int(v / y) * Int(w / Z)
  Hoja1.Cells(2, 11) = Int(u / y) * Int(v / x) * Int(w / Z)
  Hoja1.Cells(3, 11) = Int(u / Z) * Int(v / y) * Int(w / x)
  Hoja1.Cells(4, 11) = Int(u / x) * Int(v / Z) * Int(w / y)
  Hoja1.Cells(5, 11) = Int(u / y) * Int(v / Z) * Int(w / x)
  Hoja1.Cells(6, 11) = Int(u / Z) * Int(v / x) * Int(w / y)

  max = 0
  For p = 1 To 6
    If max < Hoja1.Cells(p, 11) Then
      Hoja1.Cells(1, 13) = p
      max = Hoja1.Cells(p, 11)
    End If
  Next p

  Hoja1.Cells(1, 12) = max

  If max >= 1 Then
    p = Hoja1.Cells(1, 13)

    'canvi de coordenades'
    If p = 2 Then
      Hoja1.Cells(4, 1) = x
      x = y
```

```

y = Hoja1.Cells(4, 1)
Hoja1.Cells(4, 1) = ""
ElseIf p = 3 Then
    Hoja1.Cells(4, 1) = x
    x = Z
    Z = Hoja1.Cells(4, 1)
    Hoja1.Cells(4, 1) = ""
ElseIf p = 4 Then
    Hoja1.Cells(4, 1) = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(4, 1)
    Hoja1.Cells(4, 1) = ""
ElseIf p = 5 Then
    Hoja1.Cells(4, 1) = x
    x = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(4, 1)
    Hoja1.Cells(4, 1) = ""
ElseIf p = 6 Then
    Hoja1.Cells(4, 1) = x
    x = Z
    Z = y
    y = Hoja1.Cells(4, 1)
    Hoja1.Cells(4, 1) = ""
End If

'subespai 1'
Hoja1.Cells(7, 5) = u
Hoja1.Cells(7, 6) = v
Hoja1.Cells(7, 7) = w - Int(w / Z) * Z
Hoja1.Cells(7, 8) = Hoja1.Cells(7, 5) * Hoja1.Cells(7, 6) * Hoja1.Cells(7, 7)

'subespai 2'
Hoja1.Cells(8, 5) = Int(u / x) * x
Hoja1.Cells(8, 6) = v
Hoja1.Cells(8, 7) = Int(w / Z) * Z
Hoja1.Cells(8, 8) = Hoja1.Cells(8, 5) * Hoja1.Cells(8, 6) * Hoja1.Cells(8, 7)

'subespai 3'
Hoja1.Cells(9, 5) = u - Int(u / x) * x
Hoja1.Cells(9, 6) = Int(v / y) * y
Hoja1.Cells(9, 7) = Int(w / Z) * Z
Hoja1.Cells(9, 8) = Hoja1.Cells(9, 5) * Hoja1.Cells(9, 6) * Hoja1.Cells(9, 7)

```

'Eliminar subespai = 0'

b = 7

Do While Not Hoja1.Cells(b, 5) = ""

b = b + 1

Loop

c = 7

Do While c <= b

If Hoja1.Cells(c, 8) <= 0 Then

For d = c To b

Hoja1.Cells(d, 5) = Hoja1.Cells(d + 1, 5)

Hoja1.Cells(d, 6) = Hoja1.Cells(d + 1, 6)

Hoja1.Cells(d, 7) = Hoja1.Cells(d + 1, 7)

Hoja1.Cells(d, 8) = Hoja1.Cells(d + 1, 8)

Next d

End If

c = c + 1

Loop

'Següents iteracions un cop generats els subespais'

Do While Not Hoja1.Cells(7, 5) = "" And Not Hoja1.Cells(7, 6) = "" And Not Hoja1.Cells(7, 7) = ""

u = Hoja1.Cells(7, 5)

v = Hoja1.Cells(7, 6)

w = Hoja1.Cells(7, 7)

Hoja1.Cells(1, 11) = Int(u / x) * Int(v / y) * Int(w / Z)

Hoja1.Cells(2, 11) = Int(u / y) * Int(v / x) * Int(w / Z)

Hoja1.Cells(3, 11) = Int(u / Z) * Int(v / y) * Int(w / x)

Hoja1.Cells(4, 11) = Int(u / x) * Int(v / Z) * Int(w / y)

Hoja1.Cells(5, 11) = Int(u / y) * Int(v / Z) * Int(w / x)

Hoja1.Cells(6, 11) = Int(u / Z) * Int(v / x) * Int(w / y)

max = 0

For p = 1 To 6

If max < Hoja1.Cells(p, 11) Then

Hoja1.Cells(1, 13) = p

max = Hoja1.Cells(p, 11)

End If

Next p

If max > 0 Then

Hoja1.Cells(1, 12) = Hoja1.Cells(1, 12) + max

p = Hoja1.Cells(1, 13)

'canvi de coordenades'

If p = 2 Then

Hoja1.Cells(4, 1) = x



```
x = y
y = Hoja1.Cells(4, 1)
Hoja1.Cells(4, 1) = ""
ElseIf p = 3 Then
    Hoja1.Cells(4, 1) = x
    x = Z
    Z = Hoja1.Cells(4, 1)
    Hoja1.Cells(4, 1) = ""
ElseIf p = 4 Then
    Hoja1.Cells(4, 1) = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(4, 1)
    Hoja1.Cells(4, 1) = ""
ElseIf p = 5 Then
    Hoja1.Cells(4, 1) = x
    x = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(4, 1)
    Hoja1.Cells(4, 1) = ""
ElseIf p = 6 Then
    Hoja1.Cells(4, 1) = x
    x = Z
    Z = y
    y = Hoja1.Cells(4, 1)
    Hoja1.Cells(4, 1) = ""
End If

b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 5) = ""
    b = b + 1
Loop

'subespai 1'
Hoja1.Cells(b, 5) = u
Hoja1.Cells(b, 6) = v
Hoja1.Cells(b, 7) = w - Int(w / Z) * Z
Hoja1.Cells(b, 8) = Hoja1.Cells(b, 6) * Hoja1.Cells(b, 7) * Hoja1.Cells(b, 8)

'subespai 2'
Hoja1.Cells(b + 1, 5) = Int(u / x) * x
Hoja1.Cells(b + 1, 6) = v - Int(v / y) * y
Hoja1.Cells(b + 1, 7) = Int(w / Z) * Z
Hoja1.Cells(b + 1, 8) = Hoja1.Cells(b + 1, 5) * Hoja1.Cells(b + 1, 6) * Hoja1.Cells(b + 1, 7)
```

```
'subespai 3'  
Hoja1.Cells(b + 2, 5) = u - Int(u / x) * x  
Hoja1.Cells(b + 2, 6) = Int(v / y) * y  
Hoja1.Cells(b + 2, 7) = Int(w / Z) * Z  
Hoja1.Cells(b + 2, 8) = Hoja1.Cells(b + 2, 5) * Hoja1.Cells(b + 2, 6) * Hoja1.Cells(b + 2, 7)  
  
'Eliminar subespais = 0'  
b = 7  
Do While Not Hoja1.Cells(b, 5) = ""  
    b = b + 1  
Loop  
c = 7  
Do While c <= b  
    If Hoja1.Cells(c, 8) <= 0 Then  
        For d = c To b  
            Hoja1.Cells(d, 5) = Hoja1.Cells(d + 1, 5)  
            Hoja1.Cells(d, 6) = Hoja1.Cells(d + 1, 6)  
            Hoja1.Cells(d, 7) = Hoja1.Cells(d + 1, 7)  
            Hoja1.Cells(d, 8) = Hoja1.Cells(d + 1, 8)  
        Next d  
    End If  
    c = c + 1  
Loop  
End If  
  
'Eliminar subespai utilitzat'  
b = 7  
Do While Not Hoja1.Cells(b, 5) = ""  
    b = b + 1  
Loop  
For c = 8 To b + 1  
    Hoja1.Cells(c - 1, 5) = Hoja1.Cells(c, 5)  
    Hoja1.Cells(c - 1, 6) = Hoja1.Cells(c, 6)  
    Hoja1.Cells(c - 1, 7) = Hoja1.Cells(c, 7)  
    Hoja1.Cells(c - 1, 8) = Hoja1.Cells(c, 8)  
Next c  
Loop  
  
ElseIf max = 0 Then  
    MsgBox ("No hi cap l'article a la caixa S04")  
    Hoja1.Cells(13, 4) = 0  
End If
```

```

If Hoja1.Cells(1, 12) > 0 Then
    Hoja1.Cells(caixa + 10, 3) = 1 - (Hoja1.Cells(caixa, 8) * 1000000 - Hoja1.Cells(3, 1) * Hoja1.Cells(3, 2) *
Hoja1.Cells(3, 3) * Hoja1.Cells(1, 12)) / (Hoja1.Cells(caixa, 8) * 1000000)
Else
    Hoja1.Cells(caixa + 10, 3) = 0
End If
Hoja1.Cells(1, 2) = Hoja1.Cells(1, 12)
Hoja1.Cells(1, 11) = ""
Hoja1.Cells(2, 11) = ""
Hoja1.Cells(3, 11) = ""
Hoja1.Cells(4, 11) = ""
Hoja1.Cells(5, 11) = ""
Hoja1.Cells(6, 11) = ""
Hoja1.Cells(1, 13) = ""
Hoja1.Cells(1, 12) = ""
caixa = caixa + 1
Loop

'Determinar nº de caixes de cada tipus'
i = 13
rest = Hoja1.Cells(3, 4)
Do While rest > 0
    If Hoja1.Cells(i, 2) > 0 Then
        caixes = Int(rest / Hoja1.Cells(i, 2))
        If caixes > 0 Then
            Hoja1.Cells(i, 4) = caixes
            rest = rest - (caixes * Hoja1.Cells(i, 2))
        ElseIf caixes = 0 Then
            If i = 13 And rest > (Hoja1.Cells(14, 2) + Hoja1.Cells(15, 2) + Hoja1.Cells(16, 2)) Then
                Hoja1.Cells(i, 4) = Hoja1.Cells(i, 4) + 1
                rest = 0
            ElseIf i = 14 And rest > (Hoja1.Cells(15, 2) + Hoja1.Cells(16, 2)) Then
                Hoja1.Cells(i, 4) = Hoja1.Cells(i, 4) + 1
                rest = 0
            ElseIf i = 15 And rest > Hoja1.Cells(16, 2) Then
                Hoja1.Cells(i, 4) = Hoja1.Cells(i, 4) + 1
                rest = 0
            ElseIf i = 16 Then
                Hoja1.Cells(i, 4) = Hoja1.Cells(i, 16) + 1
                rest = 0
            Else
                i = i + 1
            End If
        End If
    End If
Else

```

```
    Hoja1.Cells(i - 1, 4) = Hoja1.Cells(i - 1, 4) + 1
    Hoja1.Cells(i, 4) = 0
    i = i + 1
    If i = 16 Then
        rest = 0
    End If
End If
Loop
'
End Sub
```

F.2. Mòdul 2. Netejar

```
Sub Netejar()
'
' Netejar Macro
'
'
    Range("B13:E16").Select
    Selection.ClearContents
    Range("A3:D3").Select
    Selection.ClearContents
    Range("A3").Select
End Sub
```


Annex G. Codi del Programa Algorisme 2

Degut a l'extensió dels codis, només s'ha annexat el codi del programa que utilitza l'Algorisme 2C. A més, al Mòdul 1 i al 2 se'ls ha eliminat tota la part que s'encarregava de millorar l'aspecte visual de la interfase. Tampoc s'han inclòs a l'annex el mòdul 3 ("Netejar Empaquetament") i el 4 ("Netejar Articles") ja que ocupaven molt espai i no aportaven una informació molt rellevant.

G.1. Mòdul 1. Empaquetar

```
Sub Botón1_Haga_clic_en()
'
' Botón1_Haga_clic_en Macro
'
f = 3
Do While Not Hoja1.Cells(f, 1) = ""
    f = f + 1
Loop
For s = 3 To f - 1
    Range(Cells(s, 1), Cells(s, 3)).Select
    ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja1").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja1").Sort.SortFields.Add Key:=Range(Cells(s, 1), Cells(s, 3)), _
        SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, DataOption:=xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja1").Sort
        .SetRange Range(Cells(s, 1), Cells(s, 3))
        .Header = xlGuess
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlLeftToRight
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With
Next s

s = 3
j = 0
Do While s <= f - 1
    If Hoja1.Cells(s, 1) > Hoja1.Cells(4, 7) Or Hoja1.Cells(s, 2) > Hoja1.Cells(4, 9) Or Hoja1.Cells(s, 3) >
Hoja1.Cells(4, 8) Or Hoja1.Cells(s, 5) > Hoja1.Cells(4, 11) Then
        Hoja1.Cells(j + 7, 7) = Hoja1.Cells(s, 1)
        Hoja1.Cells(j + 7, 8) = Hoja1.Cells(s, 2)
        Hoja1.Cells(j + 7, 9) = Hoja1.Cells(s, 3)
        Hoja1.Cells(j + 7, 10) = Hoja1.Cells(s, 4)
        Hoja1.Cells(j + 7, 11) = Hoja1.Cells(s, 5)
```

```

    Hoja1.Cells(j + 7, 12) = Hoja1.Cells(s, 6)
    Hoja1.Cells(s, 1) = ""
    Hoja1.Cells(s, 2) = ""
    Hoja1.Cells(s, 3) = ""
    Hoja1.Cells(s, 4) = ""
    Hoja1.Cells(s, 5) = ""
    Hoja1.Cells(s, 6) = ""
    j = j + 1
End If
s = s + 1
Loop

Range("A2:F52").Select
ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja1").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja1").Sort.SortFields.Add Key:=Range("D3:D52"), _
    SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, DataOption:=xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja1").Sort
    .SetRange Range("A2:F52")
    .Header = xlYes
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With
If j > 0 Then
    Range(Cells(3, 1), Cells((s - 1) - j, 6)).Select
    Selection.Cut
    Range(Cells(j + 3, 1), Cells(j + 3, 1)).Select
    ActiveSheet.Paste
    Range(Cells(7, 7), Cells(6 + j, 12)).Select
    Selection.Cut
    Range(Cells(3, 1), Cells(3, 1)).Select
    ActiveSheet.Paste
    Range(Cells(j + 3, 1), Cells(j + 3, 6)).Select
    Selection.Copy
    Range(Cells(3, 1), Cells(j + 2, 6)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats, Operation:=xlNone, _
        SkipBlanks:=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
End If

Range(Cells(2, 1), Cells(j + 2, 6)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja1").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja1").Sort.SortFields.Add Key:=Range(Cells(2, 4), Cells(j + 2, 4)), _

```

```

SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, DataOption:=xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja1").Sort
.SetRange Range(Cells(2, 1), Cells(j + 2, 6))
.Header = xlYes
.MatchCase = False
.Orientation = xlTopToBottom
.SortMethod = xlPinYin
.Apply
End With

Nart = 0
i = 3
Do While Not Hoja1.Cells(i, 1) = ""
    i = i + 1
    Nart = Nart + 1
Loop

i = 3
Do While i <= Nart + 3
    If Hoja1.Cells(i, 1) > Hoja1.Cells(3, 7) Or Hoja1.Cells(i, 2) > Hoja1.Cells(3, 8) Or Hoja1.Cells(i, 3) >
Hoja1.Cells(3, 9) Or Hoja1.Cells(i, 5) > Hoja1.Cells(3, 11) Then
        Range(Hoja1.Cells(i, 1), Hoja1.Cells(i, 6)).Select
        With Selection.Interior
            .Pattern = xlSolid
            .PatternColorIndex = xlAutomatic
            .Color = 255
            .TintAndShade = 0
            .PatternTintAndShade = 0
        End With
        Hoja1.Cells(i, 6) = "No cap"
    End If
    i = i + 1
Loop

i = 3
q = 0
Do While Not Hoja1.Cells(i, 1) = ""
    If Hoja1.Cells(i, 6) = "No cap" Then
        Hoja1.Cells(i, 25) = 0
    Else
        Hoja1.Cells(i, 25) = Hoja1.Cells(i, 6) - Hoja1.Cells(i, 25)
    End If
    Do While Hoja1.Cells(i, 25) > 0
        If i >= j + 3 And Hoja1.Cells(7, 7) = "" Then
            u = Hoja1.Cells(4, 7)
            v = Hoja1.Cells(4, 8)

```

```

    w = Hoja1.Cells(4, 9)
    Plim = Hoja1.Cells(4, 11)
    q = q + 1
ElseIf i < j + 3 And Hoja1.Cells(7, 7) = "" Then
    u = Hoja1.Cells(3, 7)
    v = Hoja1.Cells(3, 8)
    w = Hoja1.Cells(3, 9)
    Plim = Hoja1.Cells(3, 11)
    q = q + 1
    Hoja2.Cells(q + 1, 1) = Hoja1.Cells(3, 12)
ElseIf Not Hoja1.Cells(7, 7) = "" Then
    u = Hoja1.Cells(7, 7)
    v = Hoja1.Cells(7, 8)
    w = Hoja1.Cells(7, 9)
End If

x = Hoja1.Cells(i, 1)
y = Hoja1.Cells(i, 2)
Z = Hoja1.Cells(i, 3)

Hoja1.Cells(1, 13) = Int(u / x) * Int(v / y) * Int(w / Z)
Hoja1.Cells(2, 13) = Int(u / y) * Int(v / x) * Int(w / Z)
Hoja1.Cells(3, 13) = Int(u / Z) * Int(v / y) * Int(w / x)
Hoja1.Cells(4, 13) = Int(u / x) * Int(v / Z) * Int(w / y)
Hoja1.Cells(5, 13) = Int(u / y) * Int(v / Z) * Int(w / x)
Hoja1.Cells(6, 13) = Int(u / Z) * Int(v / x) * Int(w / y)

max = 0
For p = 1 To 6
    If max < Hoja1.Cells(p, 13) Then
        Hoja1.Cells(1, 14) = p
        max = Hoja1.Cells(p, 13)
    End If
Next p

If max > Hoja1.Cells(i, 25) Then
    cont = Hoja1.Cells(i, 25)
ElseIf max <= Hoja1.Cells(i, 25) Then
    cont = max
End If

p = Hoja1.Cells(1, 14)

'canvi de coordenades'
If p = 2 Then

```

```

    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = y
    y = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 3 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 4 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 5 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 6 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = Z
    Z = y
    y = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
End If

If max > 0 And Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (cont * Hoja1.Cells(i, 5)) <= Plim Then
    If Hoja1.Cells(i, 25) >= max Then
        Hoja2.Cells(q + 1, i - 1) = Hoja2.Cells(q + 1, i - 1) + max
        Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) = Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (max * Hoja1.Cells(i, 5))
        Hoja1.Cells(i, 25) = Hoja1.Cells(i, 25) - max

        b = 7
        Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
            b = b + 1
        Loop

        'subespai 0'
        Hoja1.Cells(b, 7) = 0.01
        Hoja1.Cells(b, 8) = 0.01
        Hoja1.Cells(b, 9) = 0.01
        Hoja1.Cells(b, 10) = Hoja1.Cells(b, 7) * Hoja1.Cells(b, 8) * Hoja1.Cells(b, 9)
    
```

'subespai 1'

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 1, 7) = \text{Int}(u / x) * x$$

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 1, 8) = \text{Int}(v / y) * y$$

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 1, 9) = w - \text{Int}(w / Z) * Z$$

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 1, 10) = \text{Hoja1.Cells}(b + 1, 7) * \text{Hoja1.Cells}(b + 1, 8) * \text{Hoja1.Cells}(b + 1, 9)$$

'subespai 2'

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 2, 7) = \text{Int}(u / x) * x$$

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 2, 8) = v$$

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 2, 9) = w$$

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 2, 10) = \text{Hoja1.Cells}(b + 2, 9) * \text{Hoja1.Cells}(b + 2, 7) * \text{Hoja1.Cells}(b + 2, 8)$$

'subespai 3'

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 3, 7) = u - \text{Int}(u / x) * x$$

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 3, 8) = \text{Int}(v / y) * y$$

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 3, 9) = w$$

$$\text{Hoja1.Cells}(b + 3, 10) = \text{Hoja1.Cells}(b + 3, 9) * \text{Hoja1.Cells}(b + 3, 7) * \text{Hoja1.Cells}(b + 3, 8)$$

ElseIf Hoja1.Cells(i, 25) < max Then

$$\text{Hoja2.Cells}(q + 1, i - 1) = \text{Hoja2.Cells}(q + 1, i - 1) + \text{Hoja1.Cells}(i, 25)$$

$$\text{Hoja2.Cells}(q + 1, \text{Nart} + 3) = \text{Hoja2.Cells}(q + 1, \text{Nart} + 3) + (\text{Hoja1.Cells}(i, 25) * \text{Hoja1.Cells}(i, 5))$$

'Arreglar espai utilitzat abans de crear subespais'

If Hoja1.Cells(i, 25) / Int(w / Z) <= 1 Then

$$u1 = x$$

$$v1 = y$$

$$w1 = Z * \text{Hoja1.Cells}(i, 25)$$

ElseIf Hoja1.Cells(i, 25) / Int(w / Z) > 1 And Hoja1.Cells(i, 25) / (Int(u / x) * Int(w / Z)) < 1 Then

$$u1 = \text{Int}((\text{Hoja1.Cells}(i, 25) / \text{Int}(w / Z)) + 0.999) * x$$

$$v1 = y$$

$$w1 = \text{Int}(w / Z) * Z$$

ElseIf Hoja1.Cells(i, 25) / Int(w / Z) > 1 And Hoja1.Cells(i, 25) / (Int(u / x) * Int(w / Z)) = 1 Then

$$u1 = \text{Int}(u / x) * x$$

$$v1 = y$$

$$w1 = \text{Int}(w / Z) * Z$$

ElseIf Hoja1.Cells(i, 25) / (Int(u / x) * Int(w / Z)) > 1 Then

$$u1 = \text{Int}(u / x) * x$$

$$v1 = \text{Int}(\text{Hoja1.Cells}(i, 25) / (\text{Int}(u / x) * \text{Int}(w / Z)) + 0.999) * y$$

$$w1 = \text{Int}(w / Z) * Z$$

End If

$$b = 7$$

Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""



```
    b = b + 1
Loop

'subespai 0'
Hoja1.Cells(b, 7) = 0.01
Hoja1.Cells(b, 8) = 0.01
Hoja1.Cells(b, 9) = 0.01
Hoja1.Cells(b, 10) = Hoja1.Cells(b, 9) * Hoja1.Cells(b, 7) * Hoja1.Cells(b, 8)

'subespai 1'
Hoja1.Cells(b + 1, 7) = u1
Hoja1.Cells(b + 1, 8) = v1
Hoja1.Cells(b + 1, 9) = w - w1
Hoja1.Cells(b + 1, 10) = Hoja1.Cells(b + 1, 9) * Hoja1.Cells(b + 1, 7) * Hoja1.Cells(b + 1, 8)

'subespai 2'
Hoja1.Cells(b + 2, 7) = u1
Hoja1.Cells(b + 2, 8) = v
Hoja1.Cells(b + 2, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 2, 10) = Hoja1.Cells(b + 2, 9) * Hoja1.Cells(b + 2, 7) * Hoja1.Cells(b + 2, 8)

'subespai 3'
Hoja1.Cells(b + 3, 7) = u - u1
Hoja1.Cells(b + 3, 8) = v1
Hoja1.Cells(b + 3, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 3, 10) = Hoja1.Cells(b + 3, 9) * Hoja1.Cells(b + 3, 7) * Hoja1.Cells(b + 3, 8)

Hoja1.Cells(i, 25) = 0
End If

'Eliminar subespai = 0'
b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop
c = 7
Do While c <= b
    If Hoja1.Cells(c, 10) <= 0 Then
        For d = c To b + 1
            Hoja1.Cells(d, 7) = Hoja1.Cells(d + 1, 7)
            Hoja1.Cells(d, 8) = Hoja1.Cells(d + 1, 8)
            Hoja1.Cells(d, 9) = Hoja1.Cells(d + 1, 9)
            Hoja1.Cells(d, 10) = Hoja1.Cells(d + 1, 10)
        Next d
```

```

    End If
    c = c + 1
Loop

ElseIf max > 0 And Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (cont * Hoja1.Cells(i, 5)) > Plim Then
    tot = 1
    Do While Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (tot * Hoja1.Cells(i, 5)) <= Plim
        tot = tot + 1
    Loop
    tot = tot - 1

    Hoja2.Cells(q + 1, i - 1) = Hoja2.Cells(q + 1, i - 1) + tot
    Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) = Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (tot * Hoja1.Cells(i, 5))
    Hoja1.Cells(i, 25) = Hoja1.Cells(i, 25) - tot

If tot > 0 Then
    'Arreglar espai utilitzat abans de crear subespais'
    If tot / Int(w / Z) <= 1 Then
        u1 = x
        v1 = y
        w1 = Z * tot
    ElseIf tot / Int(w / Z) > 1 And tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) < 1 Then
        u1 = Int((tot / Int(w / Z)) + 0.999) * x
        v1 = y
        w1 = Int(w / Z) * Z
    ElseIf tot / Int(w / Z) > 1 And tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) = 1 Then
        u1 = Int(u / x) * x
        v1 = y
        w1 = Int(w / Z) * Z
    ElseIf tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) > 1 Then
        u1 = Int(u / x) * x
        v1 = Int(tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) + 0.999) * y
        w1 = Int(w / Z) * Z
    End If

    b = 7
    Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
        b = b + 1
    Loop

    'subespai 0'
    Hoja1.Cells(b, 7) = 0.01
    Hoja1.Cells(b, 8) = 0.01
    Hoja1.Cells(b, 9) = 0.01
    Hoja1.Cells(b, 10) = Hoja1.Cells(b, 9) * Hoja1.Cells(b, 7) * Hoja1.Cells(b, 8)

```



```

'subespai 1'
Hoja1.Cells(b + 1, 7) = u1
Hoja1.Cells(b + 1, 8) = v1
Hoja1.Cells(b + 1, 9) = w - w1
Hoja1.Cells(b + 1, 10) = Hoja1.Cells(b + 1, 9) * Hoja1.Cells(b + 1, 7) * Hoja1.Cells(b + 1, 8)

'subespai 2'
Hoja1.Cells(b + 2, 7) = u1
Hoja1.Cells(b + 2, 8) = v
Hoja1.Cells(b + 2, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 2, 10) = Hoja1.Cells(b + 2, 9) * Hoja1.Cells(b + 2, 7) * Hoja1.Cells(b + 2, 8)

'subespai 3'
Hoja1.Cells(b + 3, 7) = u - u1
Hoja1.Cells(b + 3, 8) = v1
Hoja1.Cells(b + 3, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 3, 10) = Hoja1.Cells(b + 3, 9) * Hoja1.Cells(b + 3, 7) * Hoja1.Cells(b + 3, 8)

Else
t = i + 1
b = t
Do While Not Hoja1.Cells(b, 1) = ""
    b = b + 1
Loop
Do While t < b
    If Hoja1.Cells(t, 6) - Hoja1.Cells(t, 25) > 0 Then
        x = Hoja1.Cells(t, 1)
        y = Hoja1.Cells(t, 2)
        Z = Hoja1.Cells(t, 3)

        u = Hoja1.Cells(7, 7)
        v = Hoja1.Cells(7, 8)
        w = Hoja1.Cells(7, 9)

        Hoja1.Cells(1, 13) = Int(u / x) * Int(v / y) * Int(w / Z)
        Hoja1.Cells(2, 13) = Int(u / y) * Int(v / x) * Int(w / Z)
        Hoja1.Cells(3, 13) = Int(u / Z) * Int(v / y) * Int(w / x)
        Hoja1.Cells(4, 13) = Int(u / x) * Int(v / Z) * Int(w / y)
        Hoja1.Cells(5, 13) = Int(u / y) * Int(v / Z) * Int(w / x)
        Hoja1.Cells(6, 13) = Int(u / Z) * Int(v / x) * Int(w / y)

        max = 0
        For p = 1 To 6
            If max < Hoja1.Cells(p, 13) Then

```

```

        Hoja1.Cells(1, 14) = p
        max = Hoja1.Cells(p, 13)
    End If
Next p
p = Hoja1.Cells(1, 14)
Hoja1.Cells(1, 14) = ""
If max > Hoja1.Cells(t, 6) - Hoja1.Cells(t, 25) Then
    cont = Hoja1.Cells(t, 6) - Hoja1.Cells(t, 25)
ElseIf max <= Hoja1.Cells(t, 6) - Hoja1.Cells(t, 25) Then
    cont = max
End If
If max > 0 And Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (cont * Hoja1.Cells(t, 5)) <= Plim Then
    Hoja2.Cells(q + 1, t - 1) = Hoja2.Cells(q + 1, t - 1) + cont
    Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) = Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (cont * Hoja1.Cells(t, 5))
    Hoja1.Cells(t, 25) = Hoja1.Cells(t, 25) + cont

'canvi de coordenades'
If p = 2 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = y
    y = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 3 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 4 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 5 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 6 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = Z
    Z = y
    y = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
End If

```

```

'Arreglar espai utilitzat abans de crear subespais'
If cont / Int(w / Z) <= 1 Then
    u1 = x
    v1 = y
    w1 = Z * cont
ElseIf cont / Int(w / Z) > 1 And cont / (Int(u / x) * Int(w / Z)) < 1 Then
    u1 = Int((cont / Int(w / Z)) + 0.999) * x
    v1 = y
    w1 = Int(w / Z) * Z
ElseIf cont / Int(w / Z) > 1 And cont / (Int(u / x) * Int(w / Z)) = 1 Then
    u1 = Int(u / x) * x
    v1 = y
    w1 = Int(w / Z) * Z
ElseIf cont / (Int(u / x) * Int(w / Z)) > 1 Then
    u1 = Int(u / x) * x
    v1 = Int(cont / (Int(u / x) * Int(w / Z)) + 0.999) * y
    w1 = Int(w / Z) * Z
End If

b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop

'subespai 1'
Hoja1.Cells(b, 7) = u1
Hoja1.Cells(b, 8) = v1
Hoja1.Cells(b, 9) = w - w1
Hoja1.Cells(b, 10) = Hoja1.Cells(b, 9) * Hoja1.Cells(b, 7) * Hoja1.Cells(b, 8)

'subespai 2'
Hoja1.Cells(b + 1, 7) = u1
Hoja1.Cells(b + 1, 8) = v
Hoja1.Cells(b + 1, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 1, 10) = Hoja1.Cells(b + 1, 9) * Hoja1.Cells(b + 1, 7) * Hoja1.Cells(b + 1, 8)

'subespai 3'
Hoja1.Cells(b + 2, 7) = u - u1
Hoja1.Cells(b + 2, 8) = v1
Hoja1.Cells(b + 2, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 2, 10) = Hoja1.Cells(b + 2, 9) * Hoja1.Cells(b + 2, 7) * Hoja1.Cells(b + 2, 8)

Nbuits = Int(((u1 * v1 * w1) - (Hoja1.Cells(t, 1) * Hoja1.Cells(t, 2) * Hoja1.Cells(t, 3) * cont)) /
(Hoja1.Cells(t, 1) * Hoja1.Cells(t, 2) * Hoja1.Cells(t, 3)))

```

```

If Hoja(i,25)/(Int(u/x)+Int(v/y))< 1 Then
  Hoja1.Cells(b + 3, 7) = x
  Hoja1.Cells(b + 3, 8) = y
  Hoja1.Cells(b + 3, 9) = Nbuits * Z
  Hoja1.Cells(b + 3, 10) = Hoja1.Cells(b + 3, 9) * Hoja1.Cells(b + 3, 7) * Hoja1.Cells(b + 3, 8)
End If
t = b
ElseIf max > 0 And Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (cont * Hoja1.Cells(t, 5)) > Plim Then
  tot = 1
  Do While Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (tot * Hoja1.Cells(t, 5)) <= Plim
    tot = tot + 1
  Loop
  tot = tot - 1

If tot > 0 Then
  Hoja2.Cells(q + 1, t - 1) = Hoja2.Cells(q + 1, t - 1) + tot
  Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) = Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (tot * Hoja1.Cells(t, 5))
  Hoja1.Cells(t, 25) = Hoja1.Cells(t, 25) + tot

'canvi de coordenades'
If p = 2 Then
  Hoja1.Cells(30, 1) = x
  x = y
  y = Hoja1.Cells(30, 1)
  Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 3 Then
  Hoja1.Cells(30, 1) = x
  x = Z
  Z = Hoja1.Cells(30, 1)
  Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 4 Then
  Hoja1.Cells(30, 1) = y
  y = Z
  Z = Hoja1.Cells(30, 1)
  Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 5 Then
  Hoja1.Cells(30, 1) = x
  x = y
  y = Z
  Z = Hoja1.Cells(30, 1)
  Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 6 Then
  Hoja1.Cells(30, 1) = x
  x = Z
  Z = y

```

```

    y = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
End If

'Arreglar espai utilitzat abans de crear subespais'
If tot / Int(w / Z) <= 1 Then
    u1 = x
    v1 = y
    w1 = Z * tot
ElseIf tot / Int(w / Z) > 1 And tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) < 1 Then
    u1 = Int((tot / Int(w / Z)) + 0.999) * x
    v1 = y
    w1 = Int(w / Z) * Z
ElseIf tot / Int(w / Z) > 1 And tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) = 1 Then
    u1 = Int(u / x) * x
    v1 = y
    w1 = Int(w / Z) * Z
ElseIf tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) > 1 Then
    u1 = Int(u / x) * x
    v1 = Int((tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) + 0.999) * y)
    w1 = Int(w / Z) * Z
End If

b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop

'subespai 1'
Hoja1.Cells(b, 7) = u1
Hoja1.Cells(b, 8) = v1
Hoja1.Cells(b, 9) = w - w1
Hoja1.Cells(b, 10) = Hoja1.Cells(b, 9) * Hoja1.Cells(b, 7) * Hoja1.Cells(b, 8)

'subespai 2'
Hoja1.Cells(b + 1, 7) = u1
Hoja1.Cells(b + 1, 8) = v
Hoja1.Cells(b + 1, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 1, 10) = Hoja1.Cells(b + 1, 9) * Hoja1.Cells(b + 1, 7) * Hoja1.Cells(b + 1, 8)

'subespai 3'
Hoja1.Cells(b + 2, 7) = u - u1
Hoja1.Cells(b + 2, 8) = v1
Hoja1.Cells(b + 2, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 2, 10) = Hoja1.Cells(b + 2, 9) * Hoja1.Cells(b + 2, 7) * Hoja1.Cells(b + 2, 8)

```

```

'subespai 4'
Nbuits = Int(((u1 * v1 * w1) - (Hoja1.Cells(t, 1) * Hoja1.Cells(t, 2) * Hoja1.Cells(t, 3) * tot)) /
(Hoja1.Cells(t, 1) * Hoja1.Cells(t, 2) * Hoja1.Cells(t, 3)))

If Nbuits > 0 Then
    Hoja1.Cells(b + 3, 7) = x
    Hoja1.Cells(b + 3, 8) = y
    Hoja1.Cells(b + 3, 9) = Nbuits * Z
    Hoja1.Cells(b + 3, 10) = Hoja1.Cells(b + 3, 9) * Hoja1.Cells(b + 3, 7) * Hoja1.Cells(b + 3, 8)
End If
t = b
Else
    t = t + 1
End If
ElseIf max = 0 Then
    t = t + 1
End If
Else
    t = t + 1
End If
Loop
End If

'Eliminar subespai = 0'
b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop
c = 7
Do While c <= b
    If Hoja1.Cells(c, 10) <= 0 Then
        For d = c To b + 1
            Hoja1.Cells(d, 7) = Hoja1.Cells(d + 1, 7)
            Hoja1.Cells(d, 8) = Hoja1.Cells(d + 1, 8)
            Hoja1.Cells(d, 9) = Hoja1.Cells(d + 1, 9)
            Hoja1.Cells(d, 10) = Hoja1.Cells(d + 1, 10)
        Next d
    End If
    c = c + 1
Loop

Else
    t = i + 1
    b = t
    Do While Not Hoja1.Cells(b, 1) = ""

```

b = b + 1

Loop

Do While t < b

If Hoja1.Cells(t, 6) - Hoja1.Cells(t, 25) > 0 Then

x = Hoja1.Cells(t, 1)

y = Hoja1.Cells(t, 2)

Z = Hoja1.Cells(t, 3)

u = Hoja1.Cells(7, 7)

v = Hoja1.Cells(7, 8)

w = Hoja1.Cells(7, 9)

Hoja1.Cells(1, 13) = Int(u / x) * Int(v / y) * Int(w / Z)

Hoja1.Cells(2, 13) = Int(u / y) * Int(v / x) * Int(w / Z)

Hoja1.Cells(3, 13) = Int(u / Z) * Int(v / y) * Int(w / x)

Hoja1.Cells(4, 13) = Int(u / x) * Int(v / Z) * Int(w / y)

Hoja1.Cells(5, 13) = Int(u / y) * Int(v / Z) * Int(w / x)

Hoja1.Cells(6, 13) = Int(u / Z) * Int(v / x) * Int(w / y)

max = 0

For p = 1 To 6

If max < Hoja1.Cells(p, 13) Then

Hoja1.Cells(1, 14) = p

max = Hoja1.Cells(p, 13)

End If

Next p

p = Hoja1.Cells(1, 14)

Hoja1.Cells(1, 14) = ""

If max > Hoja1.Cells(t, 6) - Hoja1.Cells(t, 25) Then

cont = Hoja1.Cells(t, 6) - Hoja1.Cells(t, 25)

ElseIf max <= Hoja1.Cells(t, 6) - Hoja1.Cells(t, 25) Then

cont = max

End If

If max > 0 And Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (cont * Hoja1.Cells(t, 5)) <= Plim Then

Hoja2.Cells(q + 1, t - 1) = Hoja2.Cells(q + 1, t - 1) + cont

Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) = Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (cont * Hoja1.Cells(t, 5))

Hoja1.Cells(t, 25) = Hoja1.Cells(t, 25) + cont

'canvi de coordenades'

If p = 2 Then

Hoja1.Cells(30, 1) = x

x = y

y = Hoja1.Cells(30, 1)

Hoja1.Cells(30, 1) = ""

```

ElseIf p = 3 Then
  Hoja1.Cells(30, 1) = x
  x = Z
  Z = Hoja1.Cells(30, 1)
  Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 4 Then
  Hoja1.Cells(30, 1) = y
  y = Z
  Z = Hoja1.Cells(30, 1)
  Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 5 Then
  Hoja1.Cells(30, 1) = x
  x = y
  y = Z
  Z = Hoja1.Cells(30, 1)
  Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 6 Then
  Hoja1.Cells(30, 1) = x
  x = Z
  Z = y
  y = Hoja1.Cells(30, 1)
  Hoja1.Cells(30, 1) = ""
End If

'Arreglar espai utilitzat abans de crear subespais'
If cont / Int(w / Z) <= 1 Then
  u1 = x
  v1 = y
  w1 = Z * cont
ElseIf cont / Int(w / Z) > 1 And cont / (Int(u / x) * Int(w / Z)) < 1 Then
  u1 = Int((cont / Int(w / Z)) + 0.999) * x
  v1 = y
  w1 = Int(w / Z) * Z
ElseIf cont / Int(w / Z) > 1 And cont / (Int(u / x) * Int(w / Z)) = 1 Then
  u1 = Int(u / x) * x
  v1 = y
  w1 = Int(w / Z) * Z
ElseIf cont / (Int(u / x) * Int(w / Z)) > 1 Then
  u1 = Int(u / x) * x
  v1 = Int(cont / (Int(u / x) * Int(w / Z)) + 0.999) * y
  w1 = Int(w / Z) * Z
End If

b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""

```



```

    b = b + 1
Loop

'subespai 1'
Hoja1.Cells(b, 7) = u1
Hoja1.Cells(b, 8) = v1
Hoja1.Cells(b, 9) = w - w1
Hoja1.Cells(b, 10) = Hoja1.Cells(b, 9) * Hoja1.Cells(b, 7) * Hoja1.Cells(b, 8)

'subespai 2'
Hoja1.Cells(b + 1, 7) = u1
Hoja1.Cells(b + 1, 8) = v
Hoja1.Cells(b + 1, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 1, 10) = Hoja1.Cells(b + 1, 9) * Hoja1.Cells(b + 1, 7) * Hoja1.Cells(b + 1, 8)

'subespai 3'
Hoja1.Cells(b + 2, 7) = u - u1
Hoja1.Cells(b + 2, 8) = v1
Hoja1.Cells(b + 2, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 2, 10) = Hoja1.Cells(b + 2, 9) * Hoja1.Cells(b + 2, 7) * Hoja1.Cells(b + 2, 8)

t = b
ElseIf max > 0 And Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (cont * Hoja1.Cells(t, 5)) > Plim Then
    tot = 1
    Do While Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (tot * Hoja1.Cells(t, 5)) <= Plim
        tot = tot + 1
    Loop
    tot = tot - 1

If tot > 0 Then
    Hoja2.Cells(q + 1, t - 1) = Hoja2.Cells(q + 1, t - 1) + tot
    Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) = Hoja2.Cells(q + 1, Nart + 3) + (tot * Hoja1.Cells(t, 5))
    Hoja1.Cells(t, 25) = Hoja1.Cells(t, 25) + tot

'canvi de coordenades'
If p = 2 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = y
    y = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 3 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)

```

```

    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 4 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 5 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
ElseIf p = 6 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = Z
    Z = y
    y = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
End If

'Arreglar espai utilitzat abans de crear subespais'
If tot / Int(w / Z) <= 1 Then
    u1 = x
    v1 = y
    w1 = Z * tot
ElseIf tot / Int(w / Z) > 1 And tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) < 1 Then
    u1 = Int((tot / Int(w / Z)) + 0.999) * x
    v1 = y
    w1 = Int(w / Z) * Z
ElseIf tot / Int(w / Z) > 1 And tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) = 1 Then
    u1 = Int(u / x) * x
    v1 = y
    w1 = Int(w / Z) * Z
ElseIf tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) > 1 Then
    u1 = Int(u / x) * x
    v1 = Int(tot / (Int(u / x) * Int(w / Z)) + 0.999) * y
    w1 = Int(w / Z) * Z
End If

b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop

'subespai 1'
```

```

Hojal.Cells(b, 7) = u1
Hojal.Cells(b, 8) = v1
Hojal.Cells(b, 9) = w - w1
Hojal.Cells(b, 10) = Hojal.Cells(b, 9) * Hojal.Cells(b, 7) * Hojal.Cells(b, 8)

'subespai 2'
Hojal.Cells(b + 1, 7) = u1
Hojal.Cells(b + 1, 8) = v
Hojal.Cells(b + 1, 9) = w
Hojal.Cells(b + 1, 10) = Hojal.Cells(b + 1, 9) * Hojal.Cells(b + 1, 7) * Hojal.Cells(b + 1, 8)

'subespai 3'
Hojal.Cells(b + 2, 7) = u - u1
Hojal.Cells(b + 2, 8) = v1
Hojal.Cells(b + 2, 9) = w
Hojal.Cells(b + 2, 10) = Hojal.Cells(b + 2, 9) * Hojal.Cells(b + 2, 7) * Hojal.Cells(b + 2, 8)

'subespai 4'
Nbuits = Int(((u1 * v1 * w1) - (Hojal.Cells(t, 1) * Hojal.Cells(t, 2) * Hojal.Cells(t, 3) * tot)) /
(Hojal.Cells(t, 1) * Hojal.Cells(t, 2) * Hojal.Cells(t, 3)))

If Nbuits > 0 Then
    Hojal.Cells(b + 3, 7) = x
    Hojal.Cells(b + 3, 8) = y
    Hojal.Cells(b + 3, 9) = Nbuits * Z
    Hojal.Cells(b + 3, 10) = Hojal.Cells(b + 3, 9) * Hojal.Cells(b + 3, 7) * Hojal.Cells(b + 3, 8)
End If
t = b
Else
    t = t + 1
End If
ElseIf max = 0 Then
    t = t + 1
End If
Else
    t = t + 1
End If
Loop
'Eliminar subespai = 0'
b = 7
Do While Not Hojal.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop
c = 7

```

```
Do While c <= b
  If Hoja1.Cells(c, 10) <= 0 Then
    For d = c To b + 1
      Hoja1.Cells(d, 7) = Hoja1.Cells(d + 1, 7)
      Hoja1.Cells(d, 8) = Hoja1.Cells(d + 1, 8)
      Hoja1.Cells(d, 9) = Hoja1.Cells(d + 1, 9)
      Hoja1.Cells(d, 10) = Hoja1.Cells(d + 1, 10)
    Next d
  End If
  c = c + 1
Loop
End If
```

'Eliminar subespai utilitzat'

```
b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
  b = b + 1
Loop
For c = 8 To b
  Hoja1.Cells(c - 1, 7) = Hoja1.Cells(c, 7)
  Hoja1.Cells(c - 1, 8) = Hoja1.Cells(c, 8)
  Hoja1.Cells(c - 1, 9) = Hoja1.Cells(c, 9)
  Hoja1.Cells(c - 1, 10) = Hoja1.Cells(c, 10)
Next c
Loop
i = i + 1
Loop
```

```
b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
  b = b + 1
Loop
For d = 7 To b
  Hoja1.Cells(d, 7) = ""
  Hoja1.Cells(d, 8) = ""
  Hoja1.Cells(d, 9) = ""
  Hoja1.Cells(d, 10) = ""
Next d
Hoja1.Cells(1, 14) = ""
Hoja1.Cells(1, 13) = ""
Hoja1.Cells(2, 13) = ""
Hoja1.Cells(3, 13) = ""
Hoja1.Cells(4, 13) = ""
Hoja1.Cells(5, 13) = ""
Hoja1.Cells(6, 13) = ""
```



```
b = 3
Do While Not Hoja1.Cells(b, 1) = ""
    b = b + 1
Loop
For l = 3 To b - 1
    Hoja1.Cells(l, 25) = ""
Next l

t = 3
Do While Not Hoja1.Cells(t, 1) = ""
    t = t + 1
Loop
t = t - 1
i = 2
Sum = 1
Do While Sum > 0
    Sum = 0
    For p = 2 To t - 1
        Sum = Sum + Hoja2.Cells(i, p)
    Next p
    i = i + 1
Loop
Sheets("Hoja2").Select
For j = 2 To i - 2
    If j < i - 1 Then
        Hoja2.Cells(j, Nart + 3) = Hoja2.Cells(j, Nart + 3) / Hoja1.Cells(4, 11)
        Range(Cells(j, Nart + 3), Cells(j, Nart + 3)).Select
        Selection.Style = "Percent"
    End If
    Hoja2.Cells(j, t) = 0
    For l = 2 To t - 1
        Hoja2.Cells(j, t) = Hoja2.Cells(j, t) + Hoja2.Cells(j, l) * Hoja1.Cells(l + 1, 4)
    Next l
    Hoja2.Cells(j, t) = Hoja2.Cells(j, t) / Hoja1.Cells(4, 10)
    Range(Cells(j, t), Cells(j, t)).Select
    Selection.Style = "Percent"
Next j
Hoja2.Cells(1, t) = "% Volum"
Hoja2.Cells(1, t + 1) = "% Massa"
Hoja2.Cells(i, t) = 0
For j = 2 To i - 1
    Hoja2.Cells(i, t) = Hoja2.Cells(i, t) + Hoja2.Cells(j, t)
Next j
Hoja2.Cells(i, t) = Hoja2.Cells(i, t) / (i - 3)
Hoja2.Cells(i, t + 1) = 0
```

```

For j = 2 To i - 1
    Hoja2.Cells(i, t + 1) = Hoja2.Cells(i, t + 1) + Hoja2.Cells(j, t + 1)
Next j
Hoja2.Cells(i, t + 1) = Hoja2.Cells(i, t + 1) / (i - 3)
Range(Cells(i, t), Cells(i, t)).Select
Selection.Style = "Percent"
Range(Cells(i, t - 1), Cells(i, t - 1)).Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "% Mig"
Range(Cells(i, t), Cells(i, t)).Select
i = 2
SG = 0
Do While Not Hoja2.Cells(i, 1) = ""
    If Hoja2.Cells(i, 1) = Hoja1.Cells(3, 12) Then
        SG = SG + 1
        Hoja2.Cells(i, Nart + 4) = Hoja2.Cells(i, 1)
        Hoja2.Cells(i, 1) = i - 1
        Range(Cells(i, Nart + 2), Cells(i, Nart + 2)).Select
        Selection.NumberFormat = "General"
        Hoja2.Cells(i, Nart + 2) = Hoja2.Cells(i, Nart + 2) * Hoja1.Cells(4, 10)
        Hoja2.Cells(i, Nart + 2) = Hoja2.Cells(i, Nart + 2) / Hoja1.Cells(3, 10)
        Range(Cells(i, Nart + 2), Cells(i, Nart + 2)).Select
        Selection.Style = "Percent"
        Range(Cells(i, Nart + 3), Cells(i, Nart + 3)).Select
        Selection.NumberFormat = "General"
        Hoja2.Cells(i, Nart + 3) = Hoja2.Cells(i, Nart + 3) * Hoja1.Cells(4, 11)
        Hoja2.Cells(i, Nart + 3) = Hoja2.Cells(i, Nart + 3) / Hoja1.Cells(3, 11)
        Range(Cells(i, Nart + 3), Cells(i, Nart + 3)).Select
        Selection.Style = "Percent"
    End If
    i = i + 1
Loop
Ncaixes = i - 2
VolArt = 0
PesArt = 0
t = 3
Do While t <= Nart + 2
    If Hoja1.Cells(t, 6) = "No cap" Then
        QA = 0
    Else
        QA = Hoja1.Cells(t, 6)
    End If
    VolArt = VolArt + (Hoja1.Cells(t, 4) * QA)
    PesArt = PesArt + (Hoja1.Cells(t, 5) * QA)
    t = t + 1
Loop

```

```

VolSG = SG * Hoja1.Cells(3, 10)
VolSP = (Ncaixes - SG) * Hoja1.Cells(4, 10)
VolTot = VolSG + VolSP
PesSG = SG * Hoja1.Cells(3, 11)
PesSP = (Ncaixes - SG) * Hoja1.Cells(4, 11)
PesTot = PesSG + PesSP
Hoja2.Cells(i + 1, Nart + 2) = VolArt / VolTot
Hoja2.Cells(i + 1, Nart + 3) = PesArt / PesTot
'
End Sub

```

G.2. Mòdul 2. Reduir última caixa

```

Sub Botón2_Haga_clic_en()
'
' Botón2_Haga_clic_en Macro
'
Nart = 0
i = 3
Do While Not Hoja1.Cells(i, 1) = ""
    i = i + 1
    Nart = Nart + 1
Loop

i = 1
j = 0
Do While Not Hoja2.Cells(i, 1) = ""
    i = i + 1
    j = j + 1
Loop

Sheets("Hoja2").Select
caixa = 4
If Hoja2.Cells(j, Nart + 2) < 0.47 And Hoja2.Cells(j, Nart + 4) = "" Then
    If Hoja2.Cells(j, Nart + 3) <= 0.25 Then
        l = 6
    ElseIf Hoja2.Cells(j, Nart + 3) <= 0.5 Then
        l = 5
    End If

    Do While l > 4
        m = 7
        Do While Not Hoja1.Cells(m, 7) = ""
            m = m + 1

```

```

Loop
For k = 7 To m
  Hoja1.Cells(k, 7) = ""
  Hoja1.Cells(k, 8) = ""
  Hoja1.Cells(k, 9) = ""
  Hoja1.Cells(k, 10) = ""
Next k

For f = 2 To Nart + 1
  Hoja1.Cells(f + 1, 25) = Hoja2.Cells(j, f)
Next f
i = 3
q = 0
Do While Not Hoja1.Cells(i, 1) = ""
  Do While Hoja1.Cells(i, 25) > 0
    If Hoja1.Cells(7, 7) = "" Then
      If l = 6 Then
        u = Hoja1.Cells(1, 7)
        v = Hoja1.Cells(1, 8)
        w = Hoja1.Cells(1, 9)
      ElseIf l = 5 Then
        u = Hoja1.Cells(1, 7)
        v = Hoja1.Cells(1, 8)
        w = Hoja1.Cells(1, 9)
      End If
      q = q + 1
    ElseIf Not Hoja1.Cells(7, 7) = "" Then
      u = Hoja1.Cells(7, 7)
      v = Hoja1.Cells(7, 8)
      w = Hoja1.Cells(7, 9)
    End If

    x = Hoja1.Cells(i, 1)
    y = Hoja1.Cells(i, 2)
    Z = Hoja1.Cells(i, 3)

    Hoja1.Cells(1, 13) = Int(u / x) * Int(v / y) * Int(w / Z)
    Hoja1.Cells(2, 13) = Int(u / y) * Int(v / x) * Int(w / Z)
    Hoja1.Cells(3, 13) = Int(u / Z) * Int(v / y) * Int(w / x)
    Hoja1.Cells(4, 13) = Int(u / x) * Int(v / Z) * Int(w / y)
    Hoja1.Cells(5, 13) = Int(u / y) * Int(v / Z) * Int(w / x)
    Hoja1.Cells(6, 13) = Int(u / Z) * Int(v / x) * Int(w / y)

    max = 0
    For p = 1 To 6

```



```
If max < Hoja1.Cells(p, 13) Then
    Hoja1.Cells(1, 14) = p
    max = Hoja1.Cells(p, 13)
End If
Next p
If max > 0 Then
    p = Hoja1.Cells(1, 14)

    'canvi de coordenades'
    If p = 2 Then
        Hoja1.Cells(30, 1) = x
        x = y
        y = Hoja1.Cells(30, 1)
        Hoja1.Cells(30, 1) = ""
    ElseIf p = 3 Then
        Hoja1.Cells(30, 1) = x
        x = Z
        Z = Hoja1.Cells(30, 1)
        Hoja1.Cells(30, 1) = ""
    ElseIf p = 4 Then
        Hoja1.Cells(30, 1) = y
        y = Z
        Z = Hoja1.Cells(30, 1)
        Hoja1.Cells(30, 1) = ""
    ElseIf p = 5 Then
        Hoja1.Cells(30, 1) = x
        x = y
        y = Z
        Z = Hoja1.Cells(30, 1)
        Hoja1.Cells(30, 1) = ""
    ElseIf p = 6 Then
        Hoja1.Cells(30, 1) = x
        x = Z
        Z = y
        y = Hoja1.Cells(30, 1)
        Hoja1.Cells(30, 1) = ""
    End If

    If Hoja1.Cells(i, 25) >= max Then
        Hoja1.Cells(i, 25) = Hoja1.Cells(i, 25) - max
        b = 7
        Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
            b = b + 1
        Loop
```

'subespai 0'

Hoja1.Cells(b, 7) = 0.01

Hoja1.Cells(b, 8) = 0.01

Hoja1.Cells(b, 9) = 0.01

Hoja1.Cells(b, 10) = Hoja1.Cells(b, 9) * Hoja1.Cells(b, 7) * Hoja1.Cells(b, 8)

'subespai 1'

Hoja1.Cells(b + 1, 7) = Int(u / x) * x

Hoja1.Cells(b + 1, 8) = Int(v / y) * y

Hoja1.Cells(b + 1, 9) = w - Int(w / Z) * Z

Hoja1.Cells(b + 1, 10) = Hoja1.Cells(b + 1, 7) * Hoja1.Cells(b + 1, 8) * Hoja1.Cells(b + 1, 9)

'subespai 2'

Hoja1.Cells(b + 2, 7) = Int(u / x) * x

Hoja1.Cells(b + 2, 8) = v

Hoja1.Cells(b + 2, 9) = w

Hoja1.Cells(b + 2, 10) = Hoja1.Cells(b + 2, 9) * Hoja1.Cells(b + 2, 7) * Hoja1.Cells(b + 2, 8)

'subespai 3'

Hoja1.Cells(b + 3, 7) = u - Int(u / x) * x

Hoja1.Cells(b + 3, 8) = Int(v / y) * y

Hoja1.Cells(b + 3, 9) = w

Hoja1.Cells(b + 3, 10) = Hoja1.Cells(b + 3, 9) * Hoja1.Cells(b + 3, 7) * Hoja1.Cells(b + 3, 8)

ElseIf Hoja1.Cells(i, 25) < max Then

'Arreglar espai utilitzat abans de crear subespais'

If Hoja1.Cells(i, 25) / Int(w / Z) <= 1 Then

u1 = x

v1 = y

w1 = Z * Hoja1.Cells(i, 25)

ElseIf Hoja1.Cells(i, 25) / Int(w / Z) > 1 And Hoja1.Cells(i, 25) / (Int(u / x) * Int(w / Z)) < 1 Then

u1 = Int((Hoja1.Cells(i, 25) / Int(w / Z)) + 0.999) * x

v1 = y

w1 = Int(w / Z) * Z

ElseIf Hoja1.Cells(i, 25) / Int(w / Z) > 1 And Hoja1.Cells(i, 25) / (Int(u / x) * Int(w / Z)) = 1 Then

u1 = Int(u / x) * x

v1 = y

w1 = Int(w / Z) * Z

ElseIf Hoja1.Cells(i, 25) / (Int(u / x) * Int(w / Z)) > 1 Then

u1 = Int(u / x) * x

v1 = Int(Hoja1.Cells(i, 25) / (Int(u / x) * Int(w / Z)) + 0.999) * y

w1 = Int(w / Z) * Z

End If

```

b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop

'subespai 0'
Hoja1.Cells(b, 7) = 0.01
Hoja1.Cells(b, 8) = 0.01
Hoja1.Cells(b, 9) = 0.01
Hoja1.Cells(b, 10) = Hoja1.Cells(b, 9) * Hoja1.Cells(b, 7) * Hoja1.Cells(b, 8)

'subespai 1'
Hoja1.Cells(b + 1, 7) = u1
Hoja1.Cells(b + 1, 8) = v1
Hoja1.Cells(b + 1, 9) = w - w1
Hoja1.Cells(b + 1, 10) = Hoja1.Cells(b + 1, 9) * Hoja1.Cells(b + 1, 7) * Hoja1.Cells(b + 1, 8)

'subespai 2'
Hoja1.Cells(b + 2, 7) = u1
Hoja1.Cells(b + 2, 8) = v
Hoja1.Cells(b + 2, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 2, 10) = Hoja1.Cells(b + 2, 9) * Hoja1.Cells(b + 2, 7) * Hoja1.Cells(b + 2, 8)

'subespai 3'
Hoja1.Cells(b + 3, 7) = u - u1
Hoja1.Cells(b + 3, 8) = v1
Hoja1.Cells(b + 3, 9) = w
Hoja1.Cells(b + 3, 10) = Hoja1.Cells(b + 3, 9) * Hoja1.Cells(b + 3, 7) * Hoja1.Cells(b + 3, 8)

    Hoja1.Cells(i, 25) = 0
End If

'Eliminar subespai = 0'
b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop
c = 7
Do While c <= b
    If Hoja1.Cells(c, 10) <= 0 Then
        For d = c To b + 1
            Hoja1.Cells(d, 7) = Hoja1.Cells(d + 1, 7)
            Hoja1.Cells(d, 8) = Hoja1.Cells(d + 1, 8)
            Hoja1.Cells(d, 9) = Hoja1.Cells(d + 1, 9)
        Next d
    End If
    c = c + 1
End While

```

```

        Hoja1.Cells(d, 10) = Hoja1.Cells(d + 1, 10)
    Next d
End If
c = c + 1
Loop

ElseIf max = 0 And (Hoja1.Cells(i, 1) > Hoja1.Cells(1, 7) Or Hoja1.Cells(i, 2) > Hoja1.Cells(1, 8) Or
Hoja1.Cells(i, 3) > Hoja1.Cells(1, 9)) Then
    Hoja1.Cells(i, 25) = 0
    q = 2
Else
    r = i + 1
    m = r
    Do While Not Hoja1.Cells(m, 1) = ""
        m = m + 1
    Loop
    Do While r < m
        x = Hoja1.Cells(r, 1)
        y = Hoja1.Cells(r, 2)
        Z = Hoja1.Cells(r, 3)

        u = Hoja1.Cells(7, 7)
        v = Hoja1.Cells(7, 8)
        w = Hoja1.Cells(7, 9)

        Hoja1.Cells(1, 13) = Int(u / x) * Int(v / y) * Int(w / Z)
        Hoja1.Cells(2, 13) = Int(u / y) * Int(v / x) * Int(w / Z)
        Hoja1.Cells(3, 13) = Int(u / Z) * Int(v / y) * Int(w / x)
        Hoja1.Cells(4, 13) = Int(u / x) * Int(v / Z) * Int(w / y)
        Hoja1.Cells(5, 13) = Int(u / y) * Int(v / Z) * Int(w / x)
        Hoja1.Cells(6, 13) = Int(u / Z) * Int(v / x) * Int(w / y)

        max = 0
        For p = 1 To 6
            If max < Hoja1.Cells(p, 13) Then
                Hoja1.Cells(1, 14) = p
                max = Hoja1.Cells(p, 13)
            End If
        Next p

        If max > 0 And Hoja1.Cells(r, 25) > 0 Then
            p = Hoja1.Cells(1, 14)

            'canvi de coordenades'
            If p = 2 Then

```

```

    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = y
    y = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
Elseif p = 3 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
Elseif p = 4 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
Elseif p = 5 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = y
    y = Z
    Z = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
Elseif p = 6 Then
    Hoja1.Cells(30, 1) = x
    x = Z
    Z = y
    y = Hoja1.Cells(30, 1)
    Hoja1.Cells(30, 1) = ""
End If

If max >= Hoja1.Cells(r, 25) Then
    'Arreglar espai utilitzat abans de crear subespais'
    If Hoja1.Cells(r, 25) / Int(w / Z) <= 1 Then
        u1 = x
        v1 = y
        w1 = Z * Hoja1.Cells(r, 25)
    Elseif Hoja1.Cells(r, 25) / Int(w / Z) > 1 And Hoja1.Cells(r, 25) / (Int(u / x) * Int(w / Z)) < 1
Then
        u1 = Int((Hoja1.Cells(r, 25) / Int(w / Z)) + 0.999) * x
        v1 = y
        w1 = Int(w / Z) * Z
    Elseif Hoja1.Cells(r, 25) / Int(w / Z) > 1 And Hoja1.Cells(r, 25) / (Int(u / x) * Int(w / Z)) = 1
Then
        u1 = Int(u / x) * x
        v1 = y
        w1 = Int(w / Z) * Z
    Elseif Hoja1.Cells(r, 25) / (Int(u / x) * Int(w / Z)) > 1 Then

```

```

    u1 = Int(u / x) * x
    v1 = Int(Hoja1.Cells(r, 25) / (Int(u / x) * Int(w / Z)) + 0.999) * y
    w1 = Int(w / Z) * Z
End If

Hoja1.Cells(r, 25) = 0

b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop

'subespai 1'
Hoja1.Cells(b, 7) = u1
Hoja1.Cells(b, 8) = v1
Hoja1.Cells(b, 9) = w - w1
Hoja1.Cells(b, 10) = Hoja1.Cells(b, 9) * Hoja1.Cells(b, 7) * Hoja1.Cells(b, 8)

'subespai 2'
Hoja1.Cells(b + 1, 7) = u1
Hoja1.Cells(b + 1, 8) = v
Hoja1.Cells(b + 1, 9) = w

'subespai 3'
Hoja1.Cells(b + 2, 7) = u - u1
Hoja1.Cells(b + 2, 8) = v1
Hoja1.Cells(b + 2, 9) = w

ElseIf max < Hoja1.Cells(r, 25) Then
    Hoja1.Cells(r, 25) = Hoja1.Cells(r, 25) - max
    b = 7
    Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
        b = b + 1
    Loop

'subespai 1'
Hoja1.Cells(b, 7) = Int(u / x) * x
Hoja1.Cells(b, 8) = Int(v / y) * y
Hoja1.Cells(b, 9) = w - Int(w / Z) * Z
Hoja1.Cells(b, 10) = Hoja1.Cells(b, 9) * Hoja1.Cells(b, 7) * Hoja1.Cells(b, 8)

'subespai 2'
Hoja1.Cells(b + 1, 7) = Int(u / x) * x
Hoja1.Cells(b + 1, 8) = v

```

```

    Hoja1.Cells(b + 1, 9) = w

    'subespai 3'
    Hoja1.Cells(b + 2, 7) = u - Int(u / x) * x
    Hoja1.Cells(b + 2, 8) = Int(v / y) * y
    Hoja1.Cells(b + 2, 9) = w
End If
r = m

'Eliminar subespai = 0'
b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop
c = 7
Do While c <= b
    If Hoja1.Cells(c, 10) <= 0 Then
        For d = c To b + 1
            Hoja1.Cells(d, 7) = Hoja1.Cells(d + 1, 7)
            Hoja1.Cells(d, 8) = Hoja1.Cells(d + 1, 8)
            Hoja1.Cells(d, 9) = Hoja1.Cells(d + 1, 9)
            Hoja1.Cells(d, 10) = Hoja1.Cells(d + 1, 10)
        Next d
    End If
    c = c + 1
Loop
Else
    r = r + 1
End If
Loop
End If

'Eliminar subespai utilitzat'
b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop
For c = 8 To b
    Hoja1.Cells(c - 1, 7) = Hoja1.Cells(c, 7)
    Hoja1.Cells(c - 1, 8) = Hoja1.Cells(c, 8)
    Hoja1.Cells(c - 1, 9) = Hoja1.Cells(c, 9)
    Hoja1.Cells(c - 1, 10) = Hoja1.Cells(c, 10)
Next c
Loop
i = i + 1

```

```

Loop
If q > 1 Then
  l = l - 1
Else
  caixa = 1
  Hoja2.Cells(j, Nart + 4) = Hoja1.Cells(l, 12)
  Range(Cells(j, Nart + 2), Cells(j, Nart + 2)).Select
  Selection.NumberFormat = "General"
  Hoja2.Cells(j, Nart + 2) = Hoja2.Cells(j, Nart + 2) * Hoja1.Cells(4, 10)
  Hoja2.Cells(j, Nart + 2) = Hoja2.Cells(j, Nart + 2) / Hoja1.Cells(l, 10)
  Range(Cells(j, Nart + 2), Cells(j, Nart + 2)).Select
  Selection.Style = "Percent"

  Range(Cells(j, Nart + 3), Cells(j, Nart + 3)).Select
  Selection.NumberFormat = "General"
  Hoja2.Cells(j, Nart + 3) = Hoja2.Cells(j, Nart + 3) * Hoja1.Cells(4, 11)
  Hoja2.Cells(j, Nart + 3) = Hoja2.Cells(j, Nart + 3) / Hoja1.Cells(caixa, 11)
  Range(Cells(j, Nart + 3), Cells(j, Nart + 3)).Select
  Selection.Style = "Percent"
  l = 2
End If
Loop
If l = 2 Then
  i = 2
  SG = 0
  Do While Not Hoja2.Cells(i, 1) = ""
    If Hoja2.Cells(i, Nart + 4) = Hoja1.Cells(3, 12) Then
      SG = SG + 1
    End If
    i = i + 1
  Loop
  Ncaixes = j - 1
  VolArt = 0
  PesArt = 0
  t = 3
  Do While t <= Nart + 2
    If Hoja1.Cells(t, 6) = "No cap" Then
      QA = 0
    Else
      QA = Hoja1.Cells(t, 6)
    End If
    VolArt = VolArt + (Hoja1.Cells(t, 4) * QA)
    PesArt = PesArt + (Hoja1.Cells(t, 5) * QA)
    t = t + 1
  Loop

```



```
VolTot = VolArt / Hoja2.Cells(j + 2, Nart + 2)
If Hoja2.Cells(j + 2, Nart + 3) = 0 Then
    Hoja2.Cells(j + 2, Nart + 3) = 0.5
End If
PesTot = PesArt / Hoja2.Cells(j + 2, Nart + 3)
If Ncaixes = SG Then
    VolTot = VolTot - Hoja1.Cells(3, 10)
    PesTot = PesTot - Hoja1.Cells(3, 11)
Else
    VolTot = VolTot - Hoja1.Cells(4, 10)
    PesTot = PesTot - Hoja1.Cells(4, 11)
End If
VolTot = VolTot + Hoja1.Cells(caixa, 10)
PesTot = PesTot + Hoja1.Cells(caixa, 11)
Hoja2.Cells(j + 2, Nart + 2) = VolArt / VolTot
Hoja2.Cells(j + 2, Nart + 3) = PesArt / PesTot
End If
End If
b = 7
Do While Not Hoja1.Cells(b, 7) = ""
    b = b + 1
Loop
For d = 7 To b
    Hoja1.Cells(d, 7) = ""
    Hoja1.Cells(d, 8) = ""
    Hoja1.Cells(d, 9) = ""
    Hoja1.Cells(d, 10) = ""
Next d
Hoja1.Cells(1, 14) = ""
Hoja1.Cells(1, 13) = ""
Hoja1.Cells(2, 13) = ""
Hoja1.Cells(3, 13) = ""
Hoja1.Cells(4, 13) = ""
Hoja1.Cells(5, 13) = ""
Hoja1.Cells(6, 13) = ""
b = 3
Do While Not Hoja1.Cells(b, 1) = ""
    b = b + 1
Loop
For l = 3 To b - 1
    Hoja1.Cells(l, 25) = ""
Next l
End Sub
```

