

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Títol: Optimització del proveïment de matèria primera en una indústria d'elaborats carnis

Document: Memòria i annexos

Alumne: Oriol Solé Cases

Tutor: Rodolfo de Castro Vila

Departament: Organització, Gestió Empresarial i Disseny del producte

Àrea: Organització d'empreses

Convocatòria: Juny 2020

Agraïments

*“A Carlos Boadas, Miquel Noguer, Sheila Aguilar i Ferran Soler, gràcies per obrir-nos
les portes de Casademont”*

*“Al tutor, el Dr. Rudi de Castro pel seu punt de vista crític i constructiu, i per orientar-
me i assistir-me al llarg de la creació del projecte”*

*“A la meva família pel seu suport incondicional al llarg dels cinc anys de la meva
aventura acadèmica a la Universitat de Girona”*

ÍNDEX

1. Introducció.....	3
1.1. Antecedents.....	3
1.2. Objecte	4
1.3. Abast.....	4
2. Anàlisi del sector carni català i espanyol.....	5
2.1. El sector agroalimentari	5
2.2. El sector carni	6
2.2.1. Producció del sector carni	7
2.2.2. Tendència del sector carni	8
2.3. El sector dels elaborats càrnics	9
2.3.1. Exportacions dels elaborats càrnics	10
3. L'empresa Casademont	12
3.1. Història de Casademont.....	12
3.2. Productes de l'empresa.....	13
3.3. Procés de producció de l'empresa	15
4. Marc teòric del problema.....	20
4.1. Modelització del problema.....	22
4.2. Característiques de la carn i preferències dels consumidors	24
4.3. Paràmetres de producció	28
5. Formulació matemàtica del problema	32
5.1. Paràmetres del problema	33
5.2. Variables del problema.....	34
5.3. Restriccions del problema.....	35

5.4. Funció objectiu del problema	37
6. Introducció i extracció de dades del problema	38
6.1. Introducció de les dades	38
6.2. Extracció de la solució.....	41
7. Conclusions/ Discussió del resultat.....	43
8. Pressupost	45
9. Bibliografia	46
ANNEX A. CODI INFORMÀTIC	51
A.1. Fitxer ProgLineCasademont.....	51
A.2. Fitxer ExcellImporter	58

1. Introducció

1.1. Antecedents

El sector agroalimentari comprèn totes aquelles activitats que transformen les matèries primeres subministrades per la ramaderia i la pesca, en productes per a l'alimentació humana, pel bestiar i animals domèstics. Històricament ha tingut un paper molt important en l'economia catalana, concretament l'any 2018 van tenir una participació del 16% en el PIB, essent els productes i elaborats carnis els que tenen un pes més important en la cistella mitjana dels consumidors espanyols.

La producció i el consum d'embotits com fuets, pernil dolç i pernil salat, és una tradició molt arrelada a Catalunya. La presència d'embotits en la base alimentària de les societats occidentals va començar amb els ibers i va continuar amb els romans, iniciant-se en la zona dels Pirineus i estenent-se a la resta de Catalunya. Actualment, segles després de l'aparició dels primers embotits, la tradició xarcutera a Catalunya es manté, sent, sense oblidar Itàlia i Alemanya, la gran fàbrica d'embotits d'Europa.

Amb gairebé 65 anys d'història, l'empresa Casademont reflexa perfectament l'evolució de la producció i la comercialització dels embotits catalans. Amb origen en un petit obrador i amb la producció d'embotits de manera tradicional per al consum local, s'ha convertit, amb una facturació anual de 41 milions d'euros, en una de les empreses més importants del sector carni de les comarques gironines, exportant una part important de la seva producció.

L'empresa produeix una àmplia gamma de productes cuits, com el pernil dolç i el pit de gall d'indi, i una gran varietat de productes curats, com fuets i xoriços, sent la tradició, la qualitat i la innovació els valors fonamentals de la companyia.

Malgrat el gran creixement i la perspectiva empresarial de Casademont, fruit de la crisi econòmica iniciada l'any 2008, l'empresa es va anar deteriorant lentament, fins que al mes de juny de 2017, la situació econòmica era insostenible i, amb un deute aproximat de 25 milions d'euros, Casademont entrava en concurs de creditors, per tal d'aconseguir reflotar l'activitat empresarial i productiva.

El grup aragonès Piensos Costa va ser la única empresa en presentar-se i, per un valor de 21,9 milions d'euros, va esdevenir el nou propietari de l'empresa Casademont.

Amb l'objectiu de recuperar l'activitat productiva i comercial, la direcció de l'empresa implementà un conjunt de mesures amb la finalitat de disminuir els costos de producció.

1.2. Objecte

L'objectiu principal del present treball és dissenyar un programa informàtic que ajudi a minimitzar el cost de proveïment de matèria primera. Per tal de poder aconseguir-ho, en primer lloc, s'ha de modelitzar el model teòric estudiant totes les variables i els paràmetres de producció que intervenen en el procés de transformació dels productes elaborats per l'empresa Casademont. Posteriorment, mitjançant la programació lineal, es realitza el disseny d'un algorisme que permeti satisfer tota la demanda de producció, amb el mínim cost de proveïment.

1.3. Abast

Per a la programació s'utilitza *Python*, un software lliure caracteritzat per ser molt intuïtiu, flexible i versàtil, i alhora molt potent. També s'usa *Gurobi*, un dels solucionadors de programació matemàtica més ràpids i potents per a resoldre problemes d'optimització.

A partir d'aquest model plantejat, l'empresa obtindrà una planificació de la compra de la matèria primera necessària per a satisfer la producció setmanal, amb un cost òptim.

2. Anàlisi del sector carni català i espanyol

2.1. El sector agroalimentari

El sector agroalimentari integra els processos de preparació i transformació de les matèries primeres ja siguin vegetals o animals, per a comercialitzar-les principalment per al consum humà, però també pel bestiar i per als animals domèstics. Per tant, podem afirmar que, l'activitat agroalimentària comprèn un ampli i heterogeni ventall de productes i processos de fabricació.

La indústria agroalimentària és un dels sectors més importants de l'economia catalana i espanyola. En primer lloc, pel volum de negoci, el 2018 va ser de 38.205 milions d'euros, cosa que equival al 16% del PIB català d'aquell mateix any, i en segon lloc, perquè tant en termes de treballadors, aproximadament 160.000, com en termes d'empreses, un total de 4.350, representa una porció molt important del total de la indústria a Catalunya. De fet, Catalunya és la comunitat autònoma que té una major xifra de vendes i el número més gran de treballadors. (Generalitat de Catalunya, 2020) ^[21]

Si analitzem el sector agroalimentari, podem establir una diferenciació en funció de quin és l'estat de la matèria primera utilitzada en el procés productiu. Diferenciem entre indústries de primera i segona transformació. (Generalitat de Catalunya, 2017) ^[22]

Per una banda, les **indústries de primera transformació** són aquelles que utilitzen com a matèries primeres, per al seu sistema de producció, productes subministrats pel sector agrícola, ramader i pesquer, i els productes obtinguts en el seu sistema productiu són destinats directament al consum, o bé, a la indústria de segona transformació, les utilitzarà com a matèries primeres per a elaborar els seus productes finals.

Per altra banda, les **indústries de segona transformació** són aquelles que utilitzen un major grau d'elaboració en els seus processos i que, conseqüentment, tenen un valor afegit més gran respecte als productes obtinguts en la primera transformació.

Les empreses, com Casademont, que es dediquen a la producció i comercialització d'elaborats carnis, es situen dins les empreses de segona transformació.

2.2. El sector carni

La indústria càrnia és el quart sector industrial del nostre país, per darrere de la indústria de l'automòbil, la del petroli i combustibles, i la de producció i distribució elèctrica.

L'elaboració de productes derivats dels animals és una tradició molt arrelada al nostre país, representa actualment el segment més important del sector agroalimentari, corresponent-li un 31% del total de negoci, com podem observar en la figura 1, el 40% en ocupació i més del 18% en nombre d'empreses, l'any 2018. (Generalitat de Catalunya, 2020) ^[21]

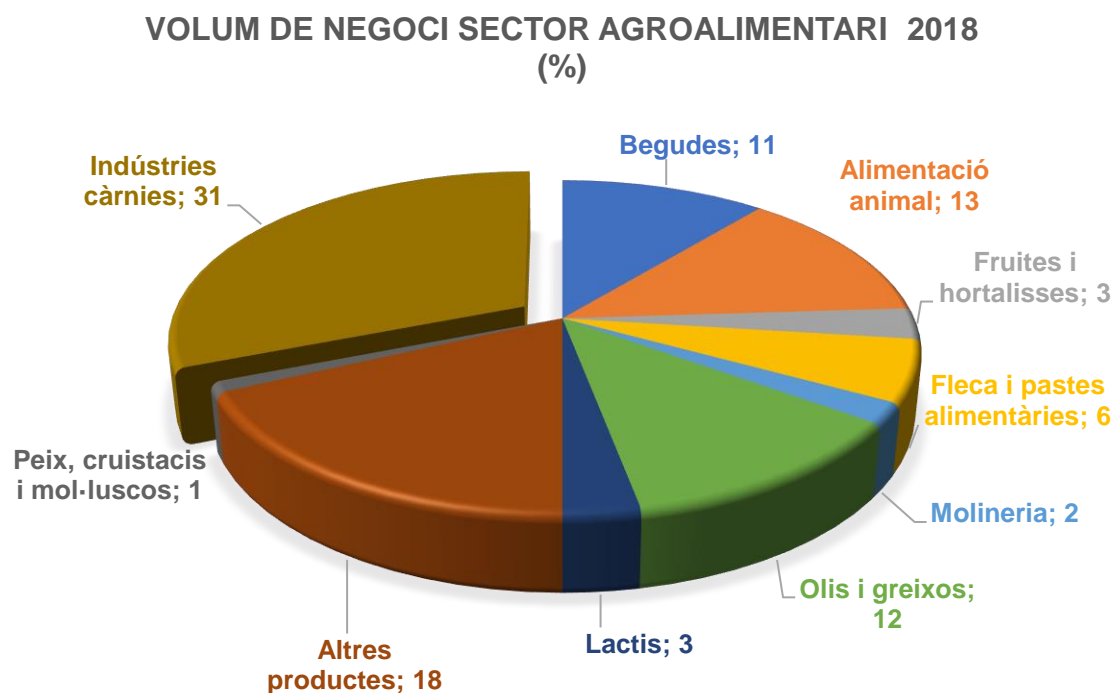


Figura 1. Gràfica del volum de negoci del sector agroalimentari, dades del 2018. Font: EEE

Una de les característiques més importants del sector carni és que té una *elasticitat-renda de la demanda molt baixa*. Es defineix l'elasticitat-renda com la variació de la quantitat demandada d'un producte o servei, en funció de la variació de la renda que té un consumidor, considerant que no es produeixen canvis en la resta de variables que afecten el consum. Per tant, com que té una

elasticitat-renda petita, podem afirmar que quan es produeix un augment (disminució) de la renda, la quantitat demandada del producte augmenta (disminueix) menys que proporcionalment. És per aquest motiu, que considerem el sector carni com un sector molt estable pel que fa a la demanda, ja que podem considerar que la quantitat demandada és pràcticament independent a la situació econòmica del país o regió. (Pedrals et al., 2010) ^[33]

Per altra banda, es considera que el sector agroalimentari és un *sector madur*. Aquests sectors es caracteritzen per tenir unes taxes de creixement industrial molt petites, ja que el client té molta informació del producte, i la diferenciació per mitjà de la tecnologia és molt difícil.

2.2.1. Producció del sector carni

Tal com ja s'ha comentat en apartats anteriors, la indústria càrnia és un dels sectors més importants de l'economia espanyola (ANICE, 2020) ^[3] amb una xifra de negocis l'any 2018 de 26.207 milions d'euros, suposant un 2,2% del PIB total espanyol i el 13,8% del PIB de la rama industrial en el mateix any.

A continuació, taula 1, es mostren les dades de producció càrnia a espanya entre el 2014 i el 2018.

Taula 1. Dades de la producció càrnia a espanya entre el 2014 i el 2018. Font ANICE

ANYS	PROCEDÈNCIA ANIMAL (tones)				TOTAL (tones)
	PORCÍ	BOBÍ	OVÍ	AUS	
2014	3.650.222	578.600	114.220	1.436.689	5.779.731
2015	3.854.658	626.104	115.864	1.446.990	6.043.616
2016	4.181.091	637.013	117.054	1.526.631	6.461.789
2017	4.298.789	643.861	115.114	1.528.845	6.586.609
2018	4.521.588	666.632	118.568	1.624.739	6.931.527

Com podem veure en la taula 1, la producció i comercialització de l'any 2018 reflecteixen un creixement total aproximat d'un 5%, essent el sector porcí, amb aproximadament un 60% de la carn produïda a Espanya, el que té un creixement més gran. Pel que fa al sector boví, segueix amb una tendència de creixement, assolint el 3,4% d'augment de la producció. Els sectors oví i de les aus, també

incrementen la seva producció amb uns percentatges del 2,9% i 5,9% respectivament. (ANICE, 2020) [3]

Pel que fa a la producció d'elaborats carnis, Espanya, amb més d'1,4 milions de tones anuals, se situa com el quart país de la Unió Europea, per darrere d'Alemanya, França i Itàlia, produint principalment embotits i pernills.

2.2.2. Tendència del sector carni

Com ja s'ha explicat en apartats anteriors, tant la indústria agroalimentària com el sector carni tenen una gran influència sobre el sistema econòmic espanyol, consolidant el seu creixement constant al llarg dels últims anys, gràcies a què ha sigut capaç d'adaptar els seus productes a les demandes dels consumidors i convertir la innovació en una constant mitjançant el llançament de nous productes, la personalització i la diferenciació dels productes acabats. (ANICE, 2020) [3]

Tot i el creixement suau però sostingut que està sofrint el sector carni al llarg dels últims anys, diversos estudis afirmen que cada vegada els consumidors es preocupen més per aspectes com la sostenibilitat, la salut i la seguretat alimentària en els productes carnis.

Segons un estudi presentat per l'empresa Nielsen, un 60% dels consumidors afirmen esforçar-se per a realitzar compres diàries saludables i un 46% intenta comprar productes respectuosos amb el medi ambient.



Figura 2. Distintius salut i sostenibilitat en envasos

Es preveu també una tendència cap a la qualitat, on els consumidors compren les millors versions dels productes i per tant és interessant informar els consumidors quins són els atributs diferencials dels seus productes per tal de poder aconseguir l'avantatge comparatiu. (AECOC, 2020) [1]

Així mateix, Ken Hughes, un dels líders mundials en l'anàlisi del comportament del consumidor, ha establert nous patrons de consum, definint al nou consumidor com a impacient i exigent, per això ha insistit en la importància de personalitzar el consum i establir una bona comunicació bidireccional consumidor-empresa,

per poder oferir al client el producte que desitja, per oferir-li una experiència gastronòmica estimulant i poder-lo captivar.

2.3. El sector dels elaborats càrnics

Si es continua amb la subdivisió del sector agroalimentari, dins el sector carni trobem l'anomenat subsector dels elaborats carnis. Aquest sector comprèn la producció, distribució i comercialització dels embotits i la resta de productes, la matèria primera principal dels quals és la carn, principalment de porc, gall d'indi i pollastre.

Tal com ja s'ha explicat en apartats anteriors, la carn segueix sent un dels productes fonamentals dins la cistella de la compra, ja que els espanyols, segons un informe presentat per *Nielsen* en l'últim congrés de l'AECOC (Associació Espanyola de Codificació Comercial), destinen anualment més de 13.000 milions d'euros a productes carnis.

Enfront de l'estancament de les vendes de productes frescos, els elaborats carnis han experimentat una evolució positiva, tant en el creixement del valor, com en el volum de vendes. Aquest creixement se sustenta sobre els canons de la Salut i els productes Premium que busquen l'autenticitat del producte, amb elaboracions que eviten additius, grasses i sal.

Segons l'últim informe de l'Observatori Sectorial DBK (2019), el valor del mercat dels elaborats carnis va augmentar un 1,9% l'any 2018, situant-se aproximadament als 7.030 milions d'euros, ja que durant aquest any, es va produir un augment del volum de vendes, però també del preu. Tot i aquest bon percentatge de creixement, aquest no és homogeni entre tots els productes. El percentatge més gran de creixement dins els elaborats carnis continua sent per als productes de pollastre i gall d'indi, degut principalment a la tendència dels consumidors a apostar per la salut, que afavoreix la demanda d'aliments baixos en grassa, naturals i sense additius. Tanmateix, els elaborats a base de porc també registren dades positives, ja que l'any 2018 van augmentar un 0,7% el volum de vendes i un 2% el valor, fins a arribar als 2340,7 milions d'euros i 265,6 milions de quilograms. (Eurocarne, 2019) ^[18]

2.3.1. Exportacions dels elaborats càrnics

Aquesta evolució dels elaborats carnis no s'acaba d'entendre sense analitzar quin ha estat el paper de les exportacions i quina influència han tingut aquestes en l'evolució del subsector d'elaborats a base de carn a Espanya.

La balança comercial del subsector l'any 2018 vas ser de 771 milions d'euros positiva, un 9,7% més que el 2017. Aquest fet radica en què les exportacions totals es van incrementar un 3,6%, mentre que les importacions es van disminuir un 8,3%. Més concretament, el valor de les vendes a l'exterior va ser de 1.106 milions d'euros, duplicant la xifra registrada l'any 2009, i consolidant d'aquesta el novè any consecutiu de creixement en les exportacions d'elaborats carnis. (Eurocarne,2019) ^[18]

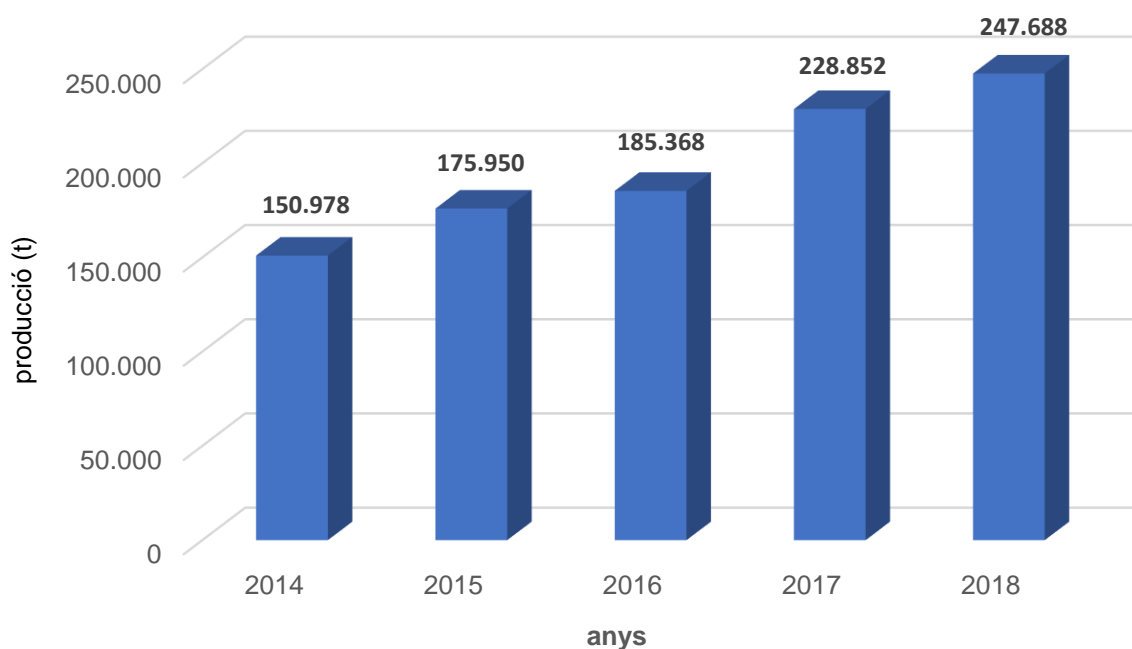


Figura 3. Gràfic que reflexa l'evolució dels elaborats càrnics espanyols. *Font: FECIC*

Els principals països importadors l'any 2018 van ser França en el qual es van incrementar les compres un 4%, Alemanya, on també van incrementar les importacions d'elaborats carnis espanyols un 3%, que juntament amb el Regne Unit i Portugal, van reunir una participació del 57% sobre el valor global exportat. Fora de la Unió Europea, s'experimenten creixements de vendes als Estats Units i la Xina.

Tot i això, tal com es pot veure en la taula següent (taula 2), la taxa de creixement de les exportacions dels diferents elaborats carnis no és homogènia, ja que

mentre els pernils i espatlles curades augmenten un 10%, els mateixos productes cuits, tenen un descens del 13,1% en les exportacions. Per altra banda, els elaborats, tant cuits com curats van créixer un 0,5%; i la resta d'elaborats creixen en un 15,4%. Les exportacions espanyoles d'elaborats càrnics per famílies de productes es poden veure en la taula següent.

Taula 2. Dades -reflex de l'evolució dels elaborats càrnics espanyols. *Font FECIC.*

	EXPORTACIONS PER ANY (tones)					Creixement 2017-2018
	2014	2015	2016	2017	2018	
pernils i espatlles curades	45.033	49.641	52.296	59.430	65.371	10,0%
pernils i espatlles cuites	6.122	6.150	7.313	7.508	6.523	-13,1%
embotits curats i cuits	54.356	64.872	69.557	73.892	74.243	0,5%
resta d'elaborats	45.467	55.287	56.202	88.021	101.551	15,4%
total elaborats	150.978	175.950	185.368	228.852	247.688	

Pel que fa a la tendència esperada per als anys 2020-2021, s'estima que es mantindrà l'ascens de les vendes en els elaborats carnis espanyols, amb una taxa estimada de creixement anual d'entre un 1 i un 2%, el què permetria obtenir un resultat de 7.200 milions d'euros el 2020. (Revista Aral, 2019) ^[4]

3. L'empresa Casademont

3.1. Història de Casademont

La història de Casademont té el seu origen el 1956, quan una família que elaborava fuets de manera artesanal a la seva masia familiar des de principis de segle, va decidir obrir un petit obrador a Girona on poder produir embotits selectes. L'obrador es va anar ampliant per poder satisfer la creixent demanda dels elaborats, fins que als anys 60, van decidir construir una nova fàbrica d'aproximadament 2.000 m² a Bescanó (Girona), seguida al final d'aquesta mateixa dècada per una altra de 3.500 m² a la localitat de Bonmatí (Girona). L'èxit de la demanda va portar a la direcció de l'empresa, l'any 1970, a ampliar la fàbrica de Bonmatí fins als 25.000 m², la qual cosa va suposar un gran salt quantitatiu per a l'empresa. Amb els anys, les instal·lacions s'han ampliat i millorat, i avui, compten amb una fabrica de 40.000 m² construïts. (Casademont, 2020) ^[11]

El salt més important dins el mercat es produeix al 1992, any en el qual es produeix la internacionalització de l'empresa produint-se les primeres exportacions més enllà dels Pirineus, venent els seus productes a països del centre d'Europa i Sud-Amèrica.

L'arribada de la recessió econòmica a Catalunya, entre els anys 2008 i 2014, va fer que, com moltes empreses del país, Casademont s'anés deteriorant lentament, ja que durant els anys entre els quals va durar la crisi, l'empresa, que llavors tenia unes 200 persones en plantilla, va anar incrementant el seu deute fins a assolir aproximadament els 25 milions d'euros l'any 2014. (Carro, 2017) ^[10]

Finalment, va ser durant el mes de juliol de 2017 quan la direcció de l'empresa, encapçalada per Adriana Casademont, va presentar el concurs de creditors al jutjat mercantil de Girona. El dia 31 d'octubre de 2017 es va fer efectiva l'adquisició de l'empresa Casademont1956 pel grup aragonès Pienso Costa per un valor de 21,9 milions d'euros, necessaris per a cobrir el passiu de l'empresa i poder reflotar l'activitat industrial i comercial. (Salvatierra, 2017) ^[38]

La inversió en R+I+D que ha realitzat la companyia en els darrers anys, ha permès dissenyar productes i sabors nous amb combinacions poc

convencionals, com per exemple el fuet de figues o el fuet de formatge Cabrales, així com una gamma d'embotits especialment dissenyada per a persones amb al·lèrgies alimentàries.

Aquesta innovació constant en els processos i productes, la qualitat de les seves referències, la gestió de l'equip i la tradició xarcutera de la companyia han permès a Casademont consolidar-se com una indústria referent a escala mundial en l'elaboració d'embotits. (Casademont, 2020) ^[11]

3.2. Productes de l'empresa

L'empresa Casademont comercialitza una gran varietat de productes elaborats a base de carn. D'entre aquests productes podem fer una classificació segons quines són les condicions ambientals de la maduració. Aquesta classificació ens permet distingir entre els embotits curats, són aquells productes que després de sortir del procés de producció se sotmeten a un procés de maduració, deixant-los assecar fins que adquireixen una certa consistència, i els embotits cuits que són aquells productes que en la seva elaboració, s'ha produït un procés de cocció a una temperatura relativament alta.

Dins la gamma de productes curats trobarem un total de 30 articles diferents, els quals es troben diferenciats en productes tallats, amb peça o amb peça per a la venda en carnisseries. Aquests productes són fuets, salami, pernil salat i xoriç de diverses varietats. (Casademont, 2020) ^[11]

En la imatge següent, figura 4, es poden veure els productes curats de l'empresa; fuet al tall, el pernil serrà, el salami extra, el fuet espetec, el fuet extra al pebre vermell, la llangonissa extra i el xoriç de Pamplona.

Tot i que la varietat d'embotits curats de Casademont és més extensa, aquests són un exemple dels productes principals.



Figura 4. Gama de productes “embotits curats”

Per altra banda, dins la gamma de productes cuïts, trobem un total de 16 articles diferents, també distingits segons si es troben tallats i envasats o en una peça sencera per a la venda en carnisseries. Els productes cuïts són diversos tipus de pernil dolç, bacó i mortadel·les.

En la imatge següent, figura 5, es poden veure alguns dels productes cuïts de la empresa, pernil dolç i pit de gall d'indi al tall, bacó a talls i mortadel·la en peça.



Figura 5. Gama de productes “embotits cuïts”.

Si analitzem més en detall els productes comercialitzats per l'empresa Casademont i l'evolució del preu i el volum de vendes durant l'any 2018, es poden identificar dues tendències força diferenciades.

Per una banda tenim els productes elaborats a base de porc com són el fuet, el pernil salat i el xoriç, i que comprenen un 89% del volum de vendes i el 90,7% del valor del mercat. (Revista ARAL, 2019) [4]

El pernil salat va sofrir un increment tant en el seu valor de vendes, que va ser del 3,9%, com en volum, que va ser de 5%. En la categoria del xoriç curat es van registrar un augment del 3,2% en el valor de vendes, mentre que l'augment del volum de vendes solament va ser de l'1,4%, fet que infereix que el preu pagat pel consumidor final es va veure augmentat al llarg de l'any 2018. Finalment, en la categoria dels fuets es va produir un augment del 3,9% en el valor de les vendes i un 3,1% en el volum de les vendes.

Per altra banda, els també productes comercialitzats per l'empresa com són el bacó, el pernil dolç i les mortadel·les van disminuir tant en el seu volum de venda com en el valor. Els productes que més decreixement van patir van ser les mortadel·les, amb un -5,7% tant en el valor com amb el volum de vendes, mentre que tant el pernil dolç, amb un decreixement de l'1,8% en volum i un 0,1% en valor, i el bacó amb un 4,7% en volum i un 2% en valor van tenir un decreixement menor.

3.3. Procés de producció de l'empresa

Per elaborar tots els productes que Casademont produeix a la seva planta de la localitat de Bonmatí, utilitza un procés de producció força similar en tots ells, solament diferenciat en les característiques de la carn utilitzades com a matèria primera, els additius, condiments i espècies incorporades, i el tractament final, que serà diferent depenent si es tracta d'un producte cuit o curat.

Si fem una classificació dels embotits segons el tractament final del producte en sortir de la línia de producció, podem distingir entre els embotits cuits que són aquells productes que en la seva elaboració, s'ha produït un procés de cocció a una temperatura relativament alta. Per altra banda, els embotits curats són aquells productes que després de sortir del procés de producció se sotmeten a

un procés de maduració, deixant-los assecar fins que adquireixen una certa consistència.

L'empresa Casademont produeix una gran varietat de productes curats com fuets, xoriços, salami, i també una gran diversitat de productes cuits com bacó, pernil dolç i mortadel·la. Cadascun dels embotits segueix un procés de fabricació diferent.

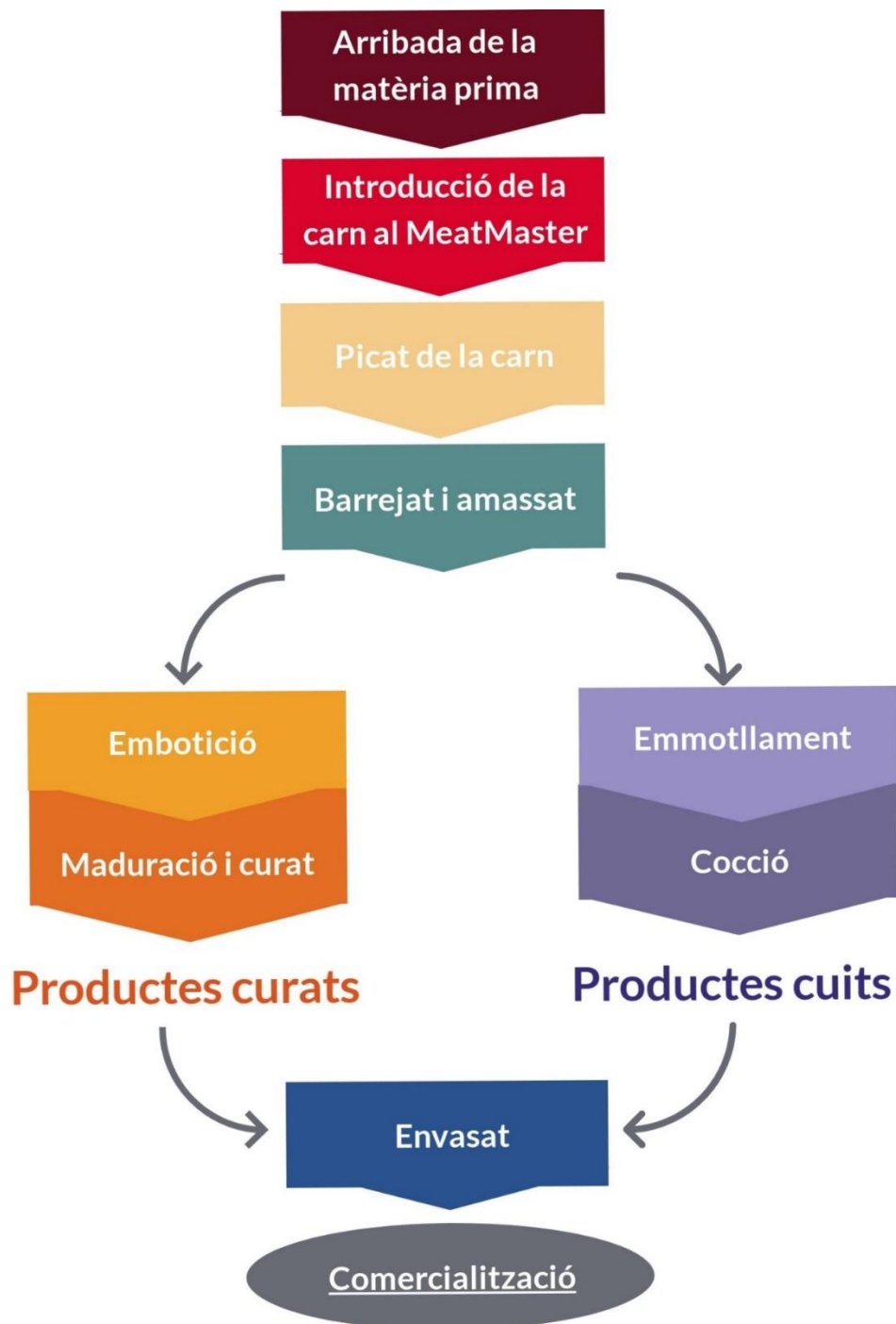


Figura 6. Esquema del procés productiu dels elaborats càrnics Casademont

El procés de transformació de la carn provinent dels nostres proveïdors en el producte final comença amb la introducció d'aquesta carn a una màquina anomenada **MeatMaster**. Aquest dispositiu de raig X analitza la carn que s'introdueix en el seu interior i determina quina és la proporció de carn magra respecte a la grassa de cada tipus de tall per cada proveïdor. Aquesta anàlisi es duu a terme, ja que la proporció de magre de cada tipus de tall subministrat pel proveïdor varia al llarg de les setmanes.

El magre és substancialment més car que la grassa, i aquesta màquina permet poder reclamar una disminució del preu als nostres proveïdors en cas que no ens subministrin la matèria primera amb les característiques acordades. Per altra banda, com que cadascuna de les mescles que s'elabora per a produir el producte final ha de contenir una quantitat determinada de magre i de grassa, aquesta màquina ens ajuda a poder realitzar les mescles amb les quantitats de magre i grassa corresponents.

Seguidament, es col·loquen els diferents tipus de carn analitzats en la MeatMaster i passen al procés anomenat **picat**. Aquesta etapa s'efectua en la picadora, que està composta fonamentalment per una tremuja de càrrega, un caragol sens fi que empeny el producte cap a unes fulles tallants giratòries que van tallant la carn. La mida dels fragments obtinguts després del picat estarà regulat principalment amb la velocitat dels discos i el temps de residència de la carn a la picadora. Aquest procés s'ha de dur a terme en una cambra refrigerada per evitar que el producte trossejat es deteriori.

Quan hem acabat l'etapa de picat, la carn entra en el període de **barrejat i amassat**, on les carns dels diferents talls del porc son barrejades per aconseguir la mescla adequada per produir cada tipus d'embotit. És també en aquesta etapa en la qual s'afegeixen els condiments i espècies per tal de fer que els productes tinguin unes característiques sensorials determinades. Un dels condiments més importants que s'afegeix en l'etapa de barrejat i amassat és la sal, que compleix tres funcions principals: actua com a conservant, ja que retarda el desenvolupament microbià perquè redueix la disponibilitat d'aigua en el medi per al desenvolupament de reaccions químiques i enzimàtiques; ajuda a la

solubilització de les proteïnes, fet que permet millorar la consistència del producte final i finalment actua com a potenciador de sabor del producte acabat.

A banda dels condiments i espècies, també s'afegeixen uns additius determinats com colorants, antioxidants, conservants, reguladors de maduració, correctors i potenciadors del sabor, etc.

Un cop s'ha preparat la massa i s'han barrejat tots els ingredients, només cal incorporar-ho tot als recipients que li donaran la forma o la presentació final, o que hauran de permetre la seva cocció. Aquest procediment es pot fer emprant dues tècniques:

- La primera és **l'embotit**, que es duu a terme en aquells casos en què el recipient que conté la massa del producte acabat són els budells. Utilitzarem aquesta tècnica per a elaborar els productes curats.
- La segona tècnica és **l'emmotllament**, que es realitza en aquelles masses no embotides i que posteriorment se li aplicarà una cocció. Per tal d'elaborar els productes cuits, utilitzarem aquesta tècnica.

La següent etapa és la de **maduració i assecat**, englobades dins el terme **curat**, en la qual, els embotits experimenten una sèrie de transformacions físiques, químiques i microbiològiques que permeten augmentar l'estabilitat del producte i desenvolupar les propietats organolèptiques característiques de cada producte. L'assecat consisteix a eliminar una certa quantitat d'aigua del producte dins un recinte, l'assegador, que té unes condicions de ventilació, temperatura i humitat relativament controlades. El curat pròpiament dit és una tècnica de conservació que agrupa els processos d'assecat i l'afegit de sals de nitrogen que permeten aconseguir l'estabilitat microbiana dels productes carnis. Aquest procediment és l'utilitzat per a obtenir els productes curats com per exemple fuets i xoriços.

Si en lloc d'aconseguir un producte curat, en volem un de cuit, com per exemple pernil dolç o mortadel·la, realitzarem un **tractament tèrmic**. Aquest tractament permetrà destruir els microorganismes i els enzims responsables d'alteracions alimentàries, i alhora provocar canvis en l'estat dels components de la massa

que permetran obtenir el color, la presentació, la textura, el sabor i l'aroma desitjats.

Finalment, la cadena de producció acaba amb **l'envasat** que té per objectiu protegir el producte acabat, mantenint-lo amb un bon estat de frescor i una bona aparença durant la seva comercialització. (Frey, 1985)^[19]

4. Marc teòric del problema

Al llarg dels últims mesos, a posteriori de l'adquisició de l'empresa Casademont pel grup aragonès Pienso Costa, s'ha realitzat una reestructuració en la direcció de l'empresa i les polítiques referides principalment al tractament dels estocs, a la gestió dels proveïdors de matèria primera i al nombre de productes produïts i comercialitzats mitjançant la marca Casademont.

Una de les mesures més importants implementades durant els últims mesos, ha estat la **reducció del nivell d'estocs**, tant de les matèries primeres com dels productes acabats. Durant els set mesos que fa que Ferran Soler està al capdavant de la gestió dels estocs, s'han aconseguit millores molt importants, ja que s'ha reduït un 70% la quantitat d'estocs de matèries primeres presents a les cambres frigorífiques de l'empresa, esperant per a ser incorporades en el procés productiu. Aquesta mesura permet minimitzar els costos de gestió dels estocs de matèria primera i producte acabat, ja que en primer lloc, es disminueix el risc de deteriorament d'aquests productes, i en segon lloc, també es redueixen les necessitats de finançament.

La segona mesura implementada satisfactòriament, ha estat la **reducció del nombre de referències de productes acabats**. Quan es parla de referències, es refereix al nombre diferent de productes comercialitzats per l'empresa. La política per la qual ha optat Casademont, ha estat la de disminuir la quantitat d'elaborats de l'empresa, i comercialitzar productes idèntics amb diferent embalatge i a preus diferents. Amb aquesta mesura, l'empresa Casademont aconsegueix aprofitar les economies d'escala amb la producció de grans volums de producte estàndard, que solament es diferencia en la darrera fase del procés de producció, que és la d'etiquetatge i embalatge.

L'estandardització del producte permet abaratir costos, per una banda, per la disminució del temps de preparació de la màquina, que es disminueix dràsticament, i per l'altra banda, permet a l'empresa disposar únicament d'un producte intermedi, fet que fa disminuir els costos de gestió i control en les etapes de producció.

Finalment, la tercera i última mesura ha estat la **disminució del nombre de proveïdors** que subministren la carn utilitzada en els diferents processos de producció de l'empresa.

Fins fa uns mesos, l'empresa de Casademont operava amb entre 12 i 14 proveïdors, els quals cadascun d'ells subministrava sis o set tipus de carn, que es diferenciaven principalment pel tant per cent de magre i de grassa que contenen, com més quantitat de magre, major qualitat té la carn, i en conseqüència el preu també és més gran.

L'objectiu de l'empresa és escollir 6 o 7 proveïdors i que cadascun d'ells els subministri quatre tipus de carn, classificats també en funció de la quantitat de magre amb relació a la quantitat de grassa present en la carn proveïda.

Amb aquesta mesura, que encara no s'ha dut a terme de manera completa, l'empresa busca fidelitzar més la seva compra de matèria primera en uns proveïdors, i d'aquesta manera aconseguir descomptes per volum de compres així com disminuir els costos de gestió de les compres de matèria primera.

Aquesta mesura és amb la que pot aconseguir disminuir més els costos de l'empresa, ja que segons ens indica el director general de la companyia Carlos Boadas, i el responsable de compres Miquel Noguer, el cost del proveïment de la carn com a matèria primera suposa el 80% del cost dels escandalls. Com que l'empresa compra una gran quantitat de quilograms de carn, una petita variació en el preu de la matèria primera, de l'ordre de cèntims d'euro, pot suposar grans variacions en els beneficis de l'empresa Casademont.

En el present treball es busca complementar les mesures adoptades de l'empresa amb la intenció de reduir els costos interns de l'empresa Casademont. L'objectiu principal de l'estudi és dissenyar, mitjançant la programació en *Python*, un llenguatge de programació que, utilitzant la programació lineal, determini quina és la quantitat de matèria primera que ha de comprar setmanalment de cada tipus de carn i a cada proveïdor, per tal d'aconseguir que el cost de proveïment necessari per a realitzar totes les ordres de fabricació planificades en el termini d'una setmana sigui el mínim possible.

4.1. Modelització del problema

La modelització, en l'àmbit d'enginyeria, és considerada com un procés d'aprenentatge que segueix una sèrie de passos per identificar aquells elements del sistema exterior que poden ser útils per a resoldre el problema desitjat i transformar aquestes representacions de la realitat en un problema resoluble matemàticament. Aquest procés, per tant, constitueix una competència professional de molta utilitat a la pràctica, ja que permet establir relació entre el món físic o extramatemàtic, mitjançant propietats i lleis matemàtiques, amb el món matemàtic. (Greca i Moreira, 1998) [23]

El procés de modelització és un procés a partir del qual obtenim un model que ha de satisfer un conjunt de restriccions, equacions, diagrames i qualsevol altre tipus d'informació de la realitat que ens permeti obtenir una solució que tingui una interpretació coherent en el món real.

Aquests models matemàtics producte de la modelització, es consideren adequats si representen totalment o parcialment els efectes del fenomen real que es desitjava representar.

Per entendre millor el procés de modelització, descriurem un seguit de definicions: (Mendible i Ortiz, 2007) [28]

- **Món real:** descriu la realitat fora de les matemàtiques i és una manera útil per indicar quina part de la realitat ens és rellevant per a resoldre un problema particular i concret.
- **Model matemàtic:** construcció matemàtica dirigida a estudiar un sistema o fenomen particular del món real, que consisteix en un sistema d'equacions matemàtiques, on la solució intenta representar algun aspecte del comportament de la realitat.
- **Model mental:** definit com la representació implícita, incompleta, imprecisa, incoherent del coneixement de la realitat, però alhora útil com a eina explicativa i predictiva del coneixement que una persona té del món exterior, que es deriva de la seva experiència perceptiva del món exterior. La principal funció dels models mentals és permetre explicar i preveure el

sistema físic que es desitja estudiar, i que aquests coneixements resultin útils per a resoldre el problema en qüestió.

El procés de modelització no hauria de ser percebut com un procés lineal, sinó que ha de ser entès com un mètode cíclic, on les reflexions sobre el model, les restriccions i la interpretació dels resultats, poden conduir a una redefinició del model, per tal d'aconseguir que aquest defineixi de manera més concreta la realitat de la problemàtica estudiada.

Per tal de modelitzar un problema, diversos experts en la matèria defineixen que el procediment consta de sis passos diferenciats, mostrats en el següent mapa conceptual, figura 7. A continuació es defineixen cada un dels passos. (Blomhoj, 2006) [8]

- (a) Formulació del problema: definir quin és l'objectiu o objectius del problema, quins són els resultats que s'espera obtenir i identificar quines són les característiques de la realitat que ens interessin per a resoldre el problema que volem modelitzar.
- (b) Sistematització: selecció dels objectes rellevants i establir quines són les relacions entre aquests, que ens permetin realitzar una possible representació matemàtica.
- (c) Traducció al llenguatge matemàtic: convertir els coneixements analitzats de la realitat al llenguatge matemàtic.
- (d) Formulació matemàtica: utilització de mètodes matemàtics per arribar a uns resultats precisos que ens permetin, posteriorment, prendre decisions.
- (e) Interpretació dels resultats: analitzar els resultats obtinguts i extreure les conclusions necessàries per poder prendre decisions en el món real.
- (f) Validació dels resultats: avaluació de la validesa del model mitjançant la comparació entre les dades observades de la realitat, els resultats obtinguts, i determinar si les solucions obtingudes són coherents i s'adeqüen a la realitat del problema.

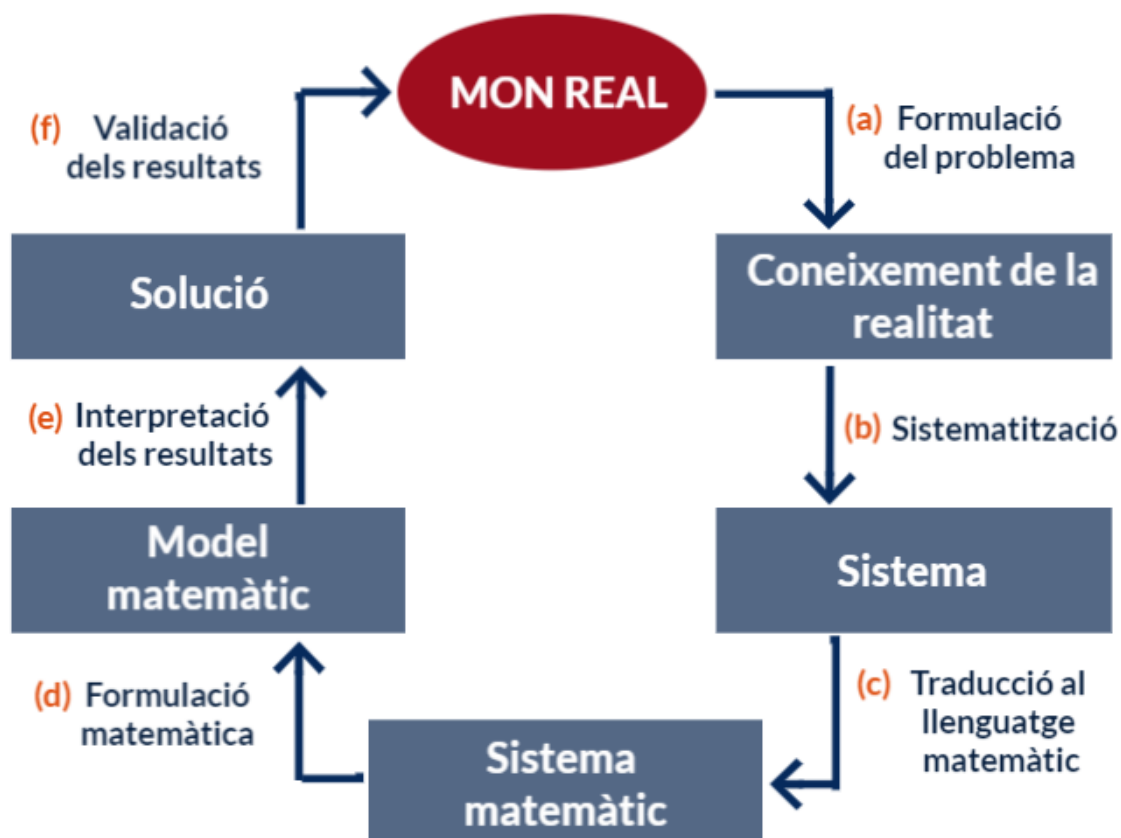


Figura 7. Model gràfic d'un procés de modelització.

4.2. Característiques de la carn i preferències dels consumidors

L'objectiu d'aquest apartat és estudiar quines són les característiques que determinen la qualitat de la carn i com aquestes són valorades pels consumidors a l'hora de comprar els productes d'una marca o d'una altra.

Per una banda, es descriuen les característiques que tenen influència en la qualitat de la carn de porc que entrarà en el procés productiu i que consegüentment, tindran influència sobre la qualitat del producte final: (López et al., 2009) ^[27]

Genètica: les característiques de la carn tenen una enorme connexió amb el tipus de raça de porc utilitzat, ja que la naturalesa de la carn, musculatura, quantitat de greix, tipus i gruix de la pell varia en funció de la genètica de l'animal.

Edat i pes de sacrifici: la consistència de la carn augmenta amb l'edat a causa d'un sobre encreuament progressiu del col·lagen muscular, que permetrà que la carn mantingui una major consistència i una estructura més estable que es

traduirà en una major tendresa en el producte final. Per altra banda, el contingut de grassa augmenta tant amb el pes com amb l'edat, mentre que la quantitat de pigments, responsables que la carn tingui un bon aspecte, milloren amb l'edat de l'animal.

Exercici físic: l'activitat física millora la textura del producte elaborat, ja que aquesta afavoreix l'acumulació de pigments a causa del metabolisme oxidatiu. Per altra banda el moviment també provoca la presència d'altres concentracions de Ferro en la carn, fet que té gran importància en el desenvolupament d'aromes i sabors peculiars en el processat.

Alimentació: la dieta que hagin rebut els porcs durant la fase d'engreix, pot estar molt relacionat, per exemple, amb l'aspecte i la quantitat de la grassa, el color, l'aroma, etc.

Per altra banda, estudiarem quins són els paràmetres que fan decantar al consumidor per escollir un producte o un altre. En conseqüència, resulta imprescindible analitzar els diferents paràmetres que influeixen en l'elecció dels elaborats carnis entre les diferents marques presents al lineal dels supermercats.

Tot i que les necessitats, preferències i la informació de què disposen els consumidors és substancialment diferent, les característiques de la carn poden ser agrupades en els següents grups: (Galián, 2007) ^[20]

1. **Aparença visual:** quin és l'aspecte exterior que té producte i que comprèn característiques de la carn com el color, la quantitat de grassa i la fermesa o consistència.
2. **Qualitat comestible:** valora els atributs gustatius de la carn i engloba característiques com la suculència, la tendresa, l'aroma i el sabor.
3. **Altres factors:** que acaben de determinar la preferència dels consumidors com són el preu, la salut i la seguretat del producte comprat.

Feta aquesta petita classificació de les característiques de la carn, es definiran quins són els paràmetres més valorats pels consumidors, que determinaran quina és la qualitat dels productes finals elaborats per les empreses d'embotits:

pH muscular: El pH de la carn influeix en les característiques com el color, el sabor, la tendresa i la capacitat de retenció d'aigua i la capacitat de conservar les seves característiques després del sacrifici de l'animal. La variació del pH està condicionada per diversos factors relacionats amb el tipus de raca del porc, l'alimentació, l'edat en produir-se el sacrifici, el sexe i fins i tot les condicions de transport fins a l'escorxador i el descans previ al sacrifici. El pH no solament afecta les característiques referents al gust i olfacte, sinó que també té incidència en la qualitat higiènica i capacitat que tindrem de manipular la carn en el nostre sistema productiu.

Color de la carn: El color, juntament amb el sabor, l'aroma i la tendresa és un dels paràmetres més valorats pel consumidor, i per tant, és un dels aspectes més importants a tenir en compte en proveir-se de matèries primeres.

El color de la carn depèn del contingut i concentració del pigment de la mioglobina als diferents talls de carn, que varien en funció de l'edat, sexe, raça, alimentació, etc. Al llarg dels últims anys les tècniques de valoració de la qualitat cromàtica de la carn s'han tornat més objectives, mesurant quin és el color a partir de la tècnica de reflexió i mesurant la concentració dels pigments de mioglobina.

Capacitat de retenció d'aigua: La capacitat de retenció d'aigua (CRA) és el concepte utilitzat per a definir la capacitat d'una carn de retenir l'aigua durant el procés de manipulació i la qualitat d'absorbir i retenir l'aigua afegida en el processat. Aquesta característica té gran importància, ja que en primer lloc, les pèrdues o guanys de líquid afecten el pes i conseqüentment en el valor econòmic de la carn, i en segon lloc, el contingut i la distribució de l'aigua influeixen en propietats de la carn com l'aspecte, la tendresa i la suculència.

Textura: La majoria de consumidors consideren la textura o duresa, termes sinònims, com l'atribut més important per determinar la qualitat de la carn. Diversos experts en el camp de la tecnologia dels aliments afirmen que aquesta qualitat comestible té una estreta relació amb la quantitat de lípids neutres situats en el teixit adipós dels músculs de l'animal.

Per valorar i qualificar la textura o duresa de la carn existeixen diverses tècniques que ens permeten avaluar la carn. Aquestes són un test de tensió, que ens permet una avaluació sensorial de la textura i les mesures de penetració que mesura la força necessària per a tallar la mostra de carn.

Grassa intramuscular: La grassa intramuscular té una influència directa amb la textura i la suculència de la carn, i depèn principalment de la composició dels lípids en la grassa del porc. La naturalesa dels lípids està influïda per la quantitat d'àcids grassos presents en la dieta de l'animal, ja que majoritàriament, aquests són absorbits i dipositats en el teixit adipós de l'animal.

Recentment, els problemes generats pel colesterol, les grasses saturades i una major preocupació per la imatge, han estat els causants de la selecció d'animals porcins amb major quantitat de magre, ja que des d'un punt de vista nutricional, dóna lloc a una carn menys calòrica.

Els factors que influeixen en la quantitat de grassa de la carn són essencialment el sexe i l'edat de sacrifici. El sexe pot influir en el perfil dels àcids grassos de la grassa, però tindrà una gran dependència l'alimentació i la raça de l'animal. Pel que fa a l'edat de sacrifici, com major és l'edat, major serà les taxes de grassa present en la carn.

Composició mineral: El cos dels animals conté aproximadament entre un 3 i un 5 % de components inorgànics, situats en teixits com els ossos, nervis, dents, etc. Alguns d'aquests minerals es consideren essencials, com per exemple el Silici, el Iode i el Seleni, mentre que hi ha una sèrie de minerals que poden ser contaminants com ara el Plom, el Mercuri, l'Alumini, etc.

La concentració dels diversos minerals en la carn de porc, tenen poca relació amb la quantitat de minerals ingerits de manera diària, ja que els mecanismes homeostàtics eliminen l'excés de sals inorgàniques de les cèl·lules de l'animal. La composició dels teixits animals en minerals com el Ferro, el Coure, el Calci, el Magnesi, els Fosfats, el Sodi, el Zinc i el Potassi, tenen una influència sobre la qualitat de la carn proveïda depenent de les concentracions d'aquests minerals en la carn subministrada.

4.3. Paràmetres de producció

La tasca de la producció acostuma a involucrar un gran nombre d'activitats que s'han de contemplar al mateix moment, sigui perquè s'executen simultàniament o perquè hi ha interrelació entre elles. Aquestes activitats, també afecten un gran nombre de recursos de diversos tipus. Per altra banda, la gran quantitat de restriccions, principalment de tipus tecnològic, condicionen l'organització de les activitats i la utilització dels recursos. Finalment, la dinàmica canviant de l'entorn i el mateix sistema productiu provoca que les sol·licitacions de producció i la disponibilitat dels recursos es vagin modificant constantment. Tots aquests condicionants contribueixen al fet que la tasca dels responsables de la producció sigui molt complexa i podem afirmar que la direcció d'operacions és un tema important i complicat.

La finalitat de la direcció d'operacions és la de contribuir a assolir els objectius d'elaboració de productes fixats al sistema productiu en la forma més eficient possible, dissenyant les estratègies, decisions i accions adequades. Generalment aquestes decisions estaran centrades en aspectes de quantitat, qualitat, costos i terminis. Per tant, la direcció d'operacions té la finalitat de la planificació i el control de totes les activitats del sistema productiu. (Companys i Corominas, 1995) ^[14]

L'esquema següent, figura 8, mostra de manera genèrica quin és el camí que segueixen els materials des que arriben a l'empresa les matèries primeres, fins que són comercialitzats, passant per les diferents fases del procés productiu.



Figura 8. Esquema del sistema logístic i els subsistemes d'aprovisionament, sistema productiu i sistema de distribució del producte.

Tal com podem observar en l'esquema, el flux de producte s'inicia amb els proveïdors, els quals introdueixen la matèria primera i tots els materials

provinents de l'exterior dins el sistema, en la fase anomenada **aprovisionament**. Aquesta matèria s'anirà modificant al llarg de diferents transformacions que transformen la matèria primera en el producte acabat; aquesta etapa s'anomena **sistema productiu**. Finalment, el producte elaborat entra en l'etapa de **distribució**, que consisteix a traslladar el producte acabat des de la planta de producció fins als clients.

Per tal de poder maximitzar l'aprofitament dels recursos de l'empresa, s'ha de realitzar una planificació de les operacions que permeti una distribució dels recursos, considerats escassos o limitats, entre les diferents activitats de producció, amb la finalitat de complir els objectius fixats pel sistema logístic o de producció de l'empresa. Aquestes decisions es representen en un **pla mestre de producció**, que ens indica quines són les quantitats determinades de cada tipus de producte que s'han de produir en cada interval de temps determinat.

La planificació plasmada en el pla mestre de producció s'alimenta de totes aquelles informacions que ens permeten preveure el nivell de vendes de cada producte, que anomenarem **previsió de la demanda**. D'acord amb les polítiques fixades per la direcció de l'empresa i d'acord amb les disponibilitats dels diferents recursos, es prenen les decisions oportunes quant a la quantitat a produir de cada producte en cada horitzó temporal determinat.

Les limitacions en els mitjans de producció poden obligar al fet que les quantitats a produir, estipulades en el pla mestre de producció, no segueixin exactament l'esquema de la previsió de la demanda. Això es produirà, per exemple, si els productes s'elaboren en lots, que en aquest cas, entraran al magatzem de productes acabats i serviran per atendre a la demanda d'aquest producte.

Un altre efecte de les limitacions en els mitjans de producció és la **capacitat de producció**, entesa en termes generals com el màxim nivell de producció que una unitat productiva concreta pot suportar, en circumstàncies normals de funcionament durant un període de temps determinat. Aquesta capacitat de producció, es considera limitada i es pot referir al volum o la varietat de producció. En cas de gran variabilitat o estacionalitat de la demanda, o de l'oferta (períodes de vacances o diferència de possibilitats productives depenent del mes

de l'any) el sistema productiu no pot seguir el ritme productiu de la demanda en períodes de demanda alta mentre hi ha sobre capacitat en períodes on la demanda és baixa. Per això, descartant la possibilitat de no atendre tota la demanda existent, la millor possibilitat és novament la constitució de productes en estoc durant els períodes de sobre capacitat, que ens permetran satisfer la demanda en els intervals amb pics de demanda. Tot i això, existeixen altres possibilitats com la subcontractació, la contractació de treball temporal i les hores o torns extres.

Tots els procediments mencionats anteriorment tenen avantatges i inconvenients tant econòmics com organitzatius, de manera que la mesura més satisfactòria radicaria en la combinació adequada de totes aquestes possibilitats. La decisió pot ser delicada i important, però tots els procediments tenen alguna cosa en comú, que s'han de prendre amb certa antelació i per tant, l'horitzó de planificació ha d'estar correctament planificat.

Generalment, la planificació d'operacions es desenvolupa en dos nivells. En primer lloc hi ha el **pla de producció** on es recullen les quantitats a produir dels diferents productes agrupats en famílies de productes, per un horitzó temporal mitjà (normalment de 12 mesos, amb intervals mensuals). En segon lloc, amb un horitzó temporal més petit, normalment de 4 mesos amb intervals setmanals, es desagrupa les famílies en classes més reduïdes, amb la finalitat de determinar les necessitats de components exteriors i la càrrega de cada línia de producció.

Una vegada presa la decisió respecte a la quantitat de productes acabats a fabricar en cada interval de temps, hem de transformar el pla mestre de producció en les **ordres de producció i aprovisionament**. Per a determinar les ordres de producció i aprovisionament haurem de calcular prèviament les necessitats de producció. Per a realitzar aquest càlcul, es busquen en primer lloc les necessitats brutes, independent de la quantitat d'estocs, i en segon lloc s'adapten aquestes ordres tenint en compte l'estoc per calcular les necessitats netes.

Posteriorment, aquestes necessitats netes calculades es transformen en ordres, classificades en **ordres de producció** i **ordres d'aprovisionament**. Associat al

càlcul de necessitats de material, també s'acostuma a realitzar el càlcul de necessitat de recursos de fabricació. En el cas d'estar justament entre la necessitat i la disponibilitat de producció, s'hauran de fer les modificacions necessàries sigui en el pla mestre detallat o en la ubicació temporal de les ordres de producció.

Finalment, hem de determinar quina serà la **programació de les operacions** que consistirà a establir detalladament on i quan es realitzarà, en un interval de temps molt concret, cada operació específica. Aquesta activitat té certa semblança amb la planificació de les operacions, tot i que aquesta, opera amb un interval temporal molt més gran. La programació de les operacions treballa a un nivell molt concret, ja que utilitza valors reals de les taxes de producció i incorpora totes les incidències reals que es produeixen en el sistema productiu de l'empresa.

5. Formulació matemàtica del problema

Els problemes de programació lineal matemàtica es poden definir com el càlcul de l'òptim d'una funció, en la qual les variables que intervenen estan subjectes a unes restriccions. Aquestes restriccions defineixen un subconjunt de possibles valors, que poden prendre les variables d'entre les quals, s'escollirà la solució que permeti minimitzar/maximitzar la funció objectiu del programa lineal en qüestió. (Arreola i Arreola, 2003) [2]

La formulació general d'un problema de programació matemàtica és:

$$\text{Optimitzar: } \max f(x) = \sum_{i=1}^n c_i * x_i$$

Subjecte a:

- 1) $\sum_{i=1}^n a_{ji} * x_i \geq b_j$
- 2) $\sum_{i=1}^n d_{ji} * x_i \leq e_j$
- 3) $\sum_{i=1}^n f_{ji} * x_i = g_j$

Figura 9. Formulació general d'un programa de programació matemàtica.

On:

- El vector \underline{x}_i és el vector de variables de decisió del problema. L'objectiu del problema és trobar els valors d'aquestes variables, de manera que s'aconsegueixi un valor òptim en la funció $f(x)$, sense incomplir cap de les restriccions del model.
- Les funcions 1, 2 i 3, són funcions vectorials que restringeixen els valors de les components del vector x , és a dir, fan que x no pugui ser qualsevol vector que optimitzi la funció objectiu, sinó que ha de respectar les restriccions que imposen aquestes funcions.
- Els valors \underline{a}_{ji} , \underline{b}_j , \underline{c}_i , \underline{d}_{ji} , \underline{e}_j , \underline{f}_{ji} i \underline{g}_j , es corresponen als paràmetres del sistema que defineixen les restriccions del problema.

5.1. Paràmetres del problema

En programació es pot definir un paràmetre com un valor que apareix tant a la funció objectiu com a les restriccions i que condiona i restringeix les possibles solucions del problema.

Els paràmetres d'entrada del problema els podem dividir en dos grups: els que fan referència a les comandes planificades al llarg d'una setmana, els que ens donen dades concretes sobre els proveïdors de carn, i l'últim.

Primerament, els paràmetres referents a la comanda, es subdivideixen en quatre paràmetres:

- La quantitat de carn (en kg) que s'haurà de produir en cada comanda.
- La quantitat de magre (en % respecte a la quantitat total) que es necessitarà per produir la comanda.
- El dia de la setmana en el qual es durà a terme l'execució de la comanda.
- El número de comanda i el nom del producte a produir.

En segon lloc, els paràmetres d'entrada que ens donaran informació sobre els proveïdors de matèria primera, es poden subdividir en quatre paràmetres:

- La quantitat mínima de carn (en kg) que haurem de comprar a cada proveïdor, de cada tipus de carn, sempre que, decidim comprar-li aquest tipus de carn al proveïdor.
- La quantitat màxima de carn (en kg) que ens podrà subministrar cada proveïdor, de cada tipus de carn.
- El preu que tindrà cada tipus de carn.
- El tant per cent de magre concret que tindrà la carn subministrada per cada proveïdor.

5.2. Variables del problema

En l'àmbit del llenguatge de programació, una variable significa un espai reservat en la memòria que té la capacitat de canviar de contingut al llarg del desenvolupament del software. Les variables que s'utilitzen per a la resolució del problema de programació lineal són quatre.

La primera variable utilitzada determina quina és la quantitat de carn de cada tipus que s'ha de **comprar** a cada proveïdor per a complir amb la minimització de la funció objectiu. Aquesta variable, s'anomenarà **Qcompra**, dependrà de tres índexs:

- El proveïdor de matèria primera: a quin dels dotze proveïdors de l'empresa es compra la carn.
- El tipus de producte concret subministrat pel proveïdor: quin dels trenta-tres productes subministrats per cada proveïdor s'ha de comprar.
- El dia de la setmana que es realitzarà la compra i la incorporació d'aquest producte concret en el sistema productiu.

La segona variable emprada es correspon a quina és la quantitat de carn, de cada tipus de tall, de cada proveïdor, **utilitzada** en cada ordre de fabricació, que permet obtenir un producte final determinat. La variable, que s'anomenarà **Qutilitzada**, també dependrà de tres índexs:

- El proveïdor de matèria primera, a qui se li ha comprat la carn.
- El producte concret subministrat per el proveïdor en qüestió.
- La ordre de fabricació en la qual s'utilitzaran aquests quilograms de carn determinada.

Cal tenir en compte, que per poder utilitzar un tipus de carn, que depèn del proveïdor i del producte, hi ha d'haver hagut prèviament, una compra d'aquest tipus de carn, és a dir una **Qcompra**.

La tercera variable que es fa servir, indica quina és la quantitat de cada tipus de carn que hi ha en forma **d'estoc** al final del dia, a les cambres frigorífiques de l'empresa. El valor de la variable, s'obté mitjançant la diferència entre la quantitat

comprada i introduïda dins el sistema productiu de l'empresa, i la quantitat de carn utilitzada per a realitzar les diferents ordres de fabricació al llarg d'una setmana. Aquesta variable, s'anomenarà **Qstock**, i dependrà de tres índexs:

- El proveïdor de matèria primera.
- El producte concret subministrat per el proveïdor.
- El dia de la setmana en el qual restaran quilograms de carn per a ser utilitzats en les diferents ordres de fabricació.

Finalment, la quarta variable, aquesta de tipus binari, pren per valor 1 si es compra un tipus de carn a un proveïdor concret, i 0 en cas contrari. Aquesta variable és útil a l'hora d'imposar les restriccions de les quantitats màximes i mínimes que es poden comprar a cada proveïdor, de cada tipus de carn. Aquesta variable, s'anomenarà **SiCompra**, i dependrà també de tres índexs:

- El proveïdor de matèria primera.
- El producte comprat al proveïdor.
- El dia de la setmana en el qual es realitza cada compra.

5.3. Restriccions del problema

Les restriccions són funcions que defineixen un subconjunt del domini de la funció original, fent que el domini del conjunt es vegi disminuït, o es mantingui igual.

Les restriccions imposades per el model del problema son:

Restricció 1:

La primera restricció imposa que la quantitat de carn (kg) comprada en el *dia t*, menys la quantitat de carn utilitzada (en kg), també en el *dia t*, per a produir les diferents ordres de fabricació, dóna com a resultat l'estoc (en kg) que es té al final del *dia t*.

$$Qcompra(t) - \sum_{q=1}^n Qutilitzada(t) = Qstock(t) \quad eq. (1)$$

Restricció 2:

La segona restricció defineix que la quantitat total de carn comprada (en kg) el dia t , sumada a la quantitat de carn (en kg) que es tenia com a estoc el dia anterior, dia $t-1$, es correspondrà a la quantitat d'estoc es tindrà en acabar el dia t .

$$Q_{compra}(t) + Q_{stock}(t - 1) = Q_{stock}(t) \quad eq. (2)$$

Restricció 3:

La tercera restricció fixa que la quantitat de carn (en kg) que es compra de cada tipus a cada proveïdor durant un dia determinat, ha de ser sempre igual o menor que la quantitat màxima (en kg) que pot subministrar el proveïdor en qüestió de cada tipus de carn, sempre que, es decideixi comprar carn a aquest proveïdor.

$$Q_{comprada}(tipus, prov) \leq Q_{max}(tipus, prov) * SiCompra(tipus, proveidor) \quad eq. (3)$$

Restricció 4:

La quarta restricció obliga que la quantitat de carn (en kg) que es compra de cada tipus a cada proveïdor durant un dia determinat, ha de ser sempre igual o major que la quantitat mínima (en kg) que ha de subministrar el proveïdor en qüestió de cada tipus de carn, sempre que, es decideixi comprar carn a aquest proveïdor.

$$Q_{comprada}(t) \geq Q_{min}(proveidor) * SiCompra(proveidor) \quad eq. (4)$$

Restricció 5:

La cinquena restricció exigeix que la quantitat de carn (en kg) utilitzada com a matèria primera que entra en el procés de producció, en un dia concert, ha de ser exactament igual a la quantitat de carn (en kg) obtinguda com a producte final, després de passar pel procés de producció.

$$\sum_{q=1}^n Q_{utilitzada}(t) = Q_{fabricada}(t) \quad eq. (5)$$

Restricció 6:

La sisena i última restricció estableix que la quantitat de magre (en kg) utilitzada com a matèria primera que entra en el procés de producció, en un dia concret, ha de ser exactament igual a la quantitat de magre (en kg) obtinguda com a producte final, després de passar pel procés de producció.

$$\sum_{q=1}^n Q_{utilitzada}(t) * Q_{magreMP} = Q_{fabricada}(t) * Q_{magrePA} \quad \text{eq. (6)}$$

5.4. Funció objectiu del problema

L'objectiu de la formulació del problema és trobar aquella combinació de compra de carn als proveïdors, respectant totes les restriccions imposades, que permetin minimitzar el cost de compra, en definitiva, minimitzar la funció de cost de la matèria primera.

$$[MIN]f(\sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^m \sum_{t=1}^7 Q_{comprada}(yzt) * Preu(yz)) \quad \text{eq. (7)}$$

La funció del cost s'obté a partir de la multiplicació entre la quantitat de carn, del tipus de tall determinat comprat a un proveïdor, pel preu (€/kg) que té aquesta carn, equació 7.

La resolució del problema de minimització, dóna el cost total de proveïment, així com quina serà la quantitat de carn que haurem de comprar cada dia, de cada tipus de carn a cada proveïdor, i també quina serà la quantitat i tipus de carn que s'utilitzarà per a produir cada ordre de fabricació. Finalment, també extreurem quin serà l'inventari de carn al final de cada dia de la setmana.

6. Introducció i extracció de dades del problema

El problema dissenyat en el present treball utilitza el programa *Microsoft Excel* per a la introducció de dades i l'extracció de la solució del problema d'optimització.

S'ha decidit utilitzar *Microsoft Excel*, ja que, en primer lloc, és un dels programes més utilitzats per les empreses industrials, com és el cas de Casademont, perquè és molt intuïtiu, i permet introduir i extreure dades, principalment numèriques, amb certa facilitat. En segon lloc, es decideix utilitzar *Excel*, ja que el llenguatge de programació *Python* té diversos paquets de funcions que permeten programar la lectura, tractament i exportació de les dades amb força simplicitat.

6.1. Introducció de les dades

El procés d'optimització del proveïment de matèria primera de l'empresa Casademont, s'inicia amb la introducció a l'*Excel* de les ordres de fabricació planificades setmanalment, tasca que realitza un responsable del departament de Producció.

En aquestes ordres de fabricació, hi apareix tota la informació necessària per a la producció dels diferents productes. Primer, es numeren les comandes per tal de tenir una organització i control sobre els productes produïts i comercialitzats. Seguidament, s'ha d'introduir el nom del producte que es produirà, al qual li correspondrà una quantitat de magre, percentual respecte al total, concreta. Finalment, s'introduirà la quantitat de quilograms que s'haurà de produir en cada ordre de fabricació, i el dia en el qual es desitja realitzar la producció.

A la figura 10, es pot veure un exemple d'introducció de 25 comandes de productes diferents al llarg d'una setmana.

Numero de comanda	Producte	Kg de carn	% de magre	Dia
1	PASTA FUET tradicional	5000	0,776	dilluns
2	PASTA ESPETEC WELFARE	6000	0,770	dilluns
3	PASTA XORIÇ CULAR DOLÇ	300	0,771	dilluns
4	PASTA XORIÇ SARTA PICANT	1000	0,711	dilluns
5	PASTA X. BBQ	150	0,711	dilluns
6	PASTA DE LLONGANISSA montanya	200	0,725	dilluns
7	PASTA X. COLLAR PICANT	400	0,686	dimarts
8	PASTA XORIÇ CULAR WELFARE (EXP CAN)	1250	0,806	dimarts
9	PASTA FUET tradicional	3000	0,776	dimarts
10	PASTA ESPETEC WELFARE	2500	0,770	dimarts
11	PASTA LLONGANISSA EXTRA	2000	0,788	dimarts
12	PASTA SALAMI	150	0,354	dimecres
13	PASTA XORIÇ PAMPLONA	360	0,530	dimecres
14	PASTA XORIÇ PAMPLONA CLEAN LABEL	265	0,583	dimecres
15	PASTA XORIÇ CULAR PICANT	1250	0,771	dimecres
16	PASTA X. PEPPERONI	600	0,390	dimecres
17	PASTA DE LLONGANISSA WELFARE	1000	0,764	dimecres
18	PASTA XORIÇ CULAR DOLÇ	1256	0,799	dimecres
19	PASTA FUET tradicional	1500	0,776	dimecres
20	PASTA ESPETEC WELFARE	2000	0,770	dijous
21	PASTA XORIÇ SARTA PICANT	190	0,711	dijous
22	PASTA LLONGANISSA EXTRA	1600	0,788	dijous
23	PASTA DE LLONGANISSA WELFARE	1506	0,764	divendres
24	PASTA FUET tradicional	700	0,776	divendres
25	PASTA ESPETEC WELFARE	750	0,770	divendres

Figura 10. Plantilla d'introducció de dades d'Ordres de Producció

Quan ja s'han introduït totes les dades que fan referència a les Ordres de Producció que l'empresa té previst fabricar durant la setmana, és necessari introduir les dades que fan referència al proveïment de matèria primera.

Aquestes dades resumeixen les condicions imposades pels 12 proveïdors que l'empresa Casademont té actualment, on cadascun d'aquests proveïdors és capaç de subministrar a l'empresa un total de 33 productes diferents.

En la taula de dades que es mostra a continuació (figura 11), es mostren les característiques dels productes imposats per quatre dels proveïdors, que són CFM, FCB, BAT i FRLO. Tots els proveïdors subministren a Casademont els mateixos productes, que es poden identificar segons l'ID numèric, i el seu nom. Tots aquests productes tenen una quantitat de magre, percentual respecte al total del pes, que s'ha obtingut realitzant una mitjana aritmètica del % de magre, de cadascun dels productes subministrats per tots els proveïdors, durant els últims mesos. Per altra banda, cada proveïdor imposa quina és la quantitat màxima i mínima de carn que és capaç de proveir a l'empresa, en cas que es

desitgi comprar el producte. Finalment, l'última característica a modificar de la taula, és el preu que imposa cada proveïdor per a cadascun dels tipus de carn que subministra.

És responsabilitat del departament de Compra de Carn, la introducció i modificació de les dades a l'Excel d'entrada si es produeix alguna modificació en alguna de les característiques imposada pels proveïdors de matèria primera de l'empresa Casademont.

Proveïdor	Producte	Q max	Q min	% magre	Preu	
CFM	0102007F	ESP 4D	3000	125	0,880	9
CFM	0102094F	ESP 4D DUR	3000	250	0,880	9
CFM	0102190F	ESP 4D BIO	4000	350	0,880	9
CFM	0102095F	ESP 3D SP WF CAN	2000	75	0,876	9
CFM	0102095C	ESP 3D SP WF CAN	1500	50	0,880	9
CFM	0102009F	ESP 3D SP	3000	75	0,915	10
CFM	0103005F	ESP 3D VERRA SP CAN	4500	125	0,921	10
CFM	0103011F	90/10	2000	250	0,886	8
CFM	0103198F	90/10 EXP02	4500	350	0,900	9
CFM	0103295F	90/10 WF	2250	75	0,900	10
CFM	0103297F	90/10 EX-BR	3000	50	0,900	10
CFM	0103190F	90/10 BIO	3000	75	0,919	10
CFM	0103001F	85/15	4000	125	0,806	8
CFM	0103095F	85/15 WF CAN	2000	250	0,842	9
CFM	0103397F	85/15 EX-BR	1500	350	0,850	9
CFM	0103195F	80/20 WF CAN	3000	75	0,764	8
CFM	0103195C	80/20 WF CAN CONG	4500	50	0,754	7
CFM	0103090C	80/20 BIO	2000	75	0,822	8
CFM	0104095F	70/30 WF CAN	4500	125	0,709	7
CFM	0104095C	70/30 WF CAN CON	2250	250	0,693	6
CFM	0104001F	70/30	3000	350	0,733	6
CFM	0104090C	70/30 BIO	3000	75	0,647	6
CFM	0104195F	RET PANX WF CAN	4000	50	0,770	7
CFM	0104198F	RET PANX EXP02	2000	75	0,700	7
CFM	0104495F	RET PANX WF	1500	125	0,770	6
CFM	0104005F	RET PANX	3000	250	0,695	5
CFM	0105002F	50/50	4500	350	0,612	5
CFM	0105298F	40/60 EXP02	2000	75	0,437	3
CFM	0105195F	40/60 WF	4500	50	0,400	4
CFM	0105095F	40/60 WF CAN	2250	75	0,390	3
CFM	0104190F	30/70 BIO	3500	125	0,587	5
CFM	0105001C	CANAL	3000	230	0,587	5
CFM	0108095C	MAGRE TELS	2000	100	0,587	5
FCB	0102007F	ESP 4D	5000	250	0,880	8
FCB	0102094F	ESP 4D DUR	5000	300	0,880	9
FCB	0102190F	ESP 4D BIO	5000	125	0,880	9
FCB	0102095F	ESP 3D SP WF CAN	5000	140	0,876	9
FCB	0102095C	ESP 3D SP WF CAN	5000	200	0,880	9
FCB	0102009F	ESP 3D SP	5000	300	0,915	10
FCB	0103005F	ESP 3D VERRA SP CAN	5000	300	0,921	10
FCB	0103011F	90/10	5000	250	0,886	8
FCB	0103198F	90/10 EXP02	5000	275	0,900	9
FCB	0103295F	90/10 WF	5000	325	0,900	10
FCB	0103297F	90/10 EX-BR	5000	300	0,900	10
FCB	0103190F	90/10 BIO	5000	250	0,919	10
FCB	0103001F	85/15	5000	150	0,806	8
FCB	0103095F	85/15 WF CAN	5000	200	0,842	8
FCB	0103397F	85/15 EX-BR	5000	175	0,850	9
FCB	0103195F	80/20 WF CAN	5000	225	0,764	8
FCB	0103195C	80/20 WF CAN CONG	5000	175	0,754	7
FCB	0103090C	80/20 BIO	5000	100	0,822	8
FCB	0104095F	70/30 WF CAN	5000	50	0,709	6
FCB	0104095C	70/30 WF CAN CON	5000	75	0,693	7
FCB	0104001F	70/30	5000	25	0,733	6
FCB	0104090C	70/30 BIO	5000	40	0,647	6
FCB	0104195F	RET PANX WF CAN	5000	55	0,770	8
FCB	0104198F	RET PANX EXP02	5000	60	0,700	7
FCB	0104495F	RET PANX WF	5000	80	0,770	8
FCB	0104005F	RET PANX	5000	100	0,695	6
FCB	0105002F	50/50	5000	100	0,612	6
FCB	0105298F	40/60 EXP02	5000	0	0,437	4
FCB	0105195F	40/60 WF	5000	0	0,400	4
FCB	0105095F	40/60 WF CAN	5000	0	0,390	4
FCB	0104190F	30/70 BIO	5000	0	0,587	4
FCB	0105001C	CANAL	5000	0	0,587	4
FCB	0108095C	MAGRE TELS	5000	0	0,587	5
FRLO	0102007F	ESP 4D	2500	50	0,880	8
FRLO	0102094F	ESP 4D DUR	2500	75	0,880	8
FRLO	0102190F	ESP 4D BIO	2500	100	0,880	8
FRLO	0102095F	ESP 3D SP WF CAN	2500	50	0,876	9
FRLO	0102095C	ESP 3D SP WF CAN	2500	75	0,880	8
FRLO	0102009F	ESP 3D SP	2500	100	0,915	10
FRLO	0103005F	ESP 3D VERRA SP CAN	2500	50	0,921	10
FRLO	0103011F	90/10	2500	75	0,886	8
FRLO	0103198F	90/10 EXP02	2500	100	0,900	9
FRLO	0103295F	90/10 WF	2500	50	0,900	10
FRLO	0103297F	90/10 EX-BR	2500	75	0,900	9
FRLO	0103190F	90/10 BIO	2500	100	0,919	10
FRLO	0103001F	85/15	2500	50	0,806	8
FRLO	0103095F	85/15 WF CAN	2500	75	0,842	8
FRLO	0103397F	85/15 EX-BR	2500	100	0,850	9
FRLO	0103195F	80/20 WF CAN	2500	50	0,764	7
FRLO	0103195C	80/20 WF CAN CONG	2500	75	0,754	7
FRLO	0103090C	80/20 BIO	2500	100	0,822	9
FRLO	0104095F	70/30 WF CAN	2500	50	0,709	6
FRLO	0104095C	70/30 WF CAN CON	2500	75	0,693	6
FRLO	0104001F	70/30	2500	100	0,733	6
FRLO	0104090C	70/30 BIO	2500	50	0,647	6
FRLO	0104195F	RET PANX WF CAN	2500	75	0,770	8
FRLO	0104198F	RET PANX EXP02	2500	100	0,700	7
FRLO	0104495F	RET PANX WF	2500	50	0,770	8
FRLO	0104005F	RET PANX	2500	75	0,695	6
FRLO	0105002F	50/50	2500	100	0,612	5
FRLO	0105298F	40/60 EXP02	2500	50	0,437	3
FRLO	0105195F	40/60 WF	2500	75	0,400	4
FRLO	0105095F	40/60 WF CAN	2500	100	0,390	3
FRLO	0104190F	30/70 BIO	2500	50	0,587	5
FRLO	0105001C	CANAL	2500	75	0,587	4
FRLO	0108095C	MAGRE TELS	2500	100	0,587	4

Figura 11. Plantilla d'introducció de dades dels Proveïdors.

6.2. Extracció de la solució

La solució trobada pel Programa *Python* s'exportarà en el mateix Excel en el qual s'havien introduït les dades d'entrada. Les dades de sortida estaran organitzades en dues fulles diferents. En el primer full, anomenat "*Dad_Sort1*", s'hi trobarà la informació referent a la compra de matèria primera i a l'estoc que hi haurà al final de cada dia, en les cambres frigorífiques de l'empresa. Al segona full, amb el nom de "*Dat_Sort2*", hi haurà la informació de la quantitat i tipus de carn utilitzada en cadascuna de les ordres de fabricació.

Com es pot observar, en aquesta taula no hi apareixen la totalitat de proveïdors i productes, sinó que solament hi ha aquells que en algun moment de la setmana es realitza alguna compra de carn. En aquest exemple concret, la solució defineix que per aconseguir minimitzar el cost, s'ha de comprar carn a 11 proveïdors, i el total de productes diferents comprats a aquests proveïdors serà de 15.

Les dades de sortida, tant a la taula 12 com en la taula 13, estan estructurades de la següent manera: a la part superior, hi ha els proveïdors de matèria primera que intervenen en la compra de carn, per a poder satisfer les ordres de producció de la setmana en qüestió; a la part esquerra de la taula, hi ha el nom i la identificació dels productes que la solució descriu que s'han de comprar per minimitzar el cost de proveïment; finalment, les dades de la Qcomprada es troben a l'interior de la taula, i s'han d'obtenir cercant el proveïdor i el producte en qüestió, en aquella cel·la en què conflueixen.

A la figura 12, es pot veure un exemple de com s'exposa la solució que fa referència a quina és la quantitat de carn que s'ha de comprar de cada tipus de producte a cada proveïdor, és a dir la variable **Qcomprada**.

DILLUNS	Ordres de compra		CFM	FCB	BAU	JUI	5VIL	BAT	FRLO	BSTA	FSV	MAC	RIV	MON
ID	NOM													
0102007F	ESP 4D													
0103190F	90/10 BIO													2500
0103005F	ESP 3D VERRA SP CAN			1055,9271	2500						2500			2500
0105195F	40/60 WF												1731,8324	
0105095F	40/60 WF CAN						273,120737							
0108095C	MAGRE TELS													
0102095C	ESP 3D SP WF CAN													
0102095F	ESP 3D SP WF CAN													
0103090C	80/20 BIO								1553,9719					
0103011F	90/10										250		1533,9279	
0103095F	85/15 WF CAN												261,75302	
0105298F	40/60 EXP02									698,24723				
0102190F	ESP 4D BIO													
0103198F	90/10 EXP02													
0104095F	70/30 WF CAN													
0105001C	CANAL											358,53428	826,21151	
0103295F	90/10 WF												250	
0104001F	70/30													
0104190F	30/70 BIO													

Figura 12. Exemple d'extracció de Qcompra.

A la figura 13, es pot veure un exemple de com s'exposa la solució que fa referència a quina és la quantitat de cada tipus de carn present en les instal·lacions de l'empresa en forma d'estoc al final de cada dia de la setmana, és a dir, la variable **Qstock**.

DILLUNS	Estoc actual		CFM	FCB	BAT	FRLO	BSTA	FSV	MAC	RIV	MON
	ID	NOM									
	0102007F	ESP 4D									
	0103190F	90/10 BIO									
	0103005F	ESP 3D VERRA SP CAN		898,37913				627,497875			
	0105095F	40/60 WF CAN			273,12074						
	0103090C	80/20 BIO				1553,9719					
	0103011F	90/10					250			1533,9279	
	0105298F	40/60 EXP02					614,47522				
	0104095F	70/30 WF CAN									
	0105001C	CANAL							96,62823		
	0103295F	90/10 WF								33,772008	
	0103095F	85/15 WF CAN								261,75302	
	0104001F	70/30									

Figura 13. Exemple d'extracció de Qstock.

Per acabar, a la figura 14, es pot veure un exemple de com s'exposa la solució que fa referència a quina és la quantitat de cada tipus de carn que s'utilitzarà per a fer cadascuna de les ordres de producció. Aquestes dades es troben en el full d'*Excel* amb el nom *Dad_Sort2*.

En el cas de la variable **Qutilitzada**, el format de sortida és una mica diferent del de les altres dues variables de sortida. En aquest cas, cadascuna de les ordres de fabricació disposarà d'una taula on s'hi veurà reflectida quina és la quantitat de cada tipus de carn que s'haurà d'introduir a la picadora per aconseguir les característiques pel que fa a tant per cent de magre desitjades.

A la part esquerra de la taula, s'hi troben els proveïdors que subministraran carn per a producció concreta d'aquest producte, i a la part superior, hi haurà el producte concret que s'haurà d'utilitzar.

Comanda 19			
	0105195F	0103198F	0105298F
BAU	317,53852		
MAC		1123,0326	
RIV			59,42888025

Comanda 8		
	0102095C	0105095F
JUI	1061,154341	53,97190103
BAT		134,8737583

Figura 14. Exemple d'extracció de Qutilitzada.

7. Conclusions/ Discussió del resultat

Els resultats obtinguts respecte a l'objectiu de la investigació "*dissenyar un programa informàtic per aconseguir minimitzar el cost de proveïment de matèria primera de l'empresa Casademont*", es poden considerar satisfactoris, ja que mitjançant *Gurobi* i *Python* s'ha aconseguit dissenyar un programa capaç d'obtenir una solució òptima respecte al proveïment de matèria primera de l'empresa. Malgrat l'assoliment de l'objectiu principal del present treball, es considera que tot i obtenir una sortida de les dades que permet una lectura intuïtiva i fàcil d'entendre, l'estètica de la presentació de les dades és millorable.

No obstant, aquest estudi no s'ha pogut realitzar tan profundament com s'hagués desitjat, ja que en conseqüència de la situació sanitària excepcional que es viu al nostre país provocada per la COVID-19, no s'ha pogut tenir el feedback necessari de l'empresa Casademont, respecte a quines millores en la introducció i sortida de dades es podien incorporar al programa dissenyat.

Per altra banda, es considera, pels comentaris fets pels directius en la reunió que vam realitzar a l'inici del projecte, que el programa dissenyat és solament el primer pas per assolir l'automatització gairebé completa de la compra de matèria primeres amb el mínim cost possible. Els passos que s'haurien de seguir per complementar el projecte i assolir els propòsits de l'empresa Casademont, són tres:

En primer lloc, seria molt interessant que l'Excel d'entrada de dades, agafés automàticament tota la informació referent a les ordres de producció, planificades en el departament de Producció, ja que d'aquesta manera es disminuïa el temps de reacció i es el risc de cometre errades de transcripció entres els dos departaments.

En segon lloc, seria de molta utilitat que quan la matèria primera subministrada per els proveïdors s'hagués introduït dins la MeatMaster, on s'obtenen les propietats de la carn com el percentatge de magre, es realitzés un nou càlcul per avaluar si la carn comprada és suficient per poder produir totes les ordres de fabricació, o les diferències entre la quantitat de magre suposades en el càlcul i la quantitat de magre real, obliguen a l'empresa a comprar més quantitat de carn.

Finalment, els directius de l'empresa, van manifestar que seria molt interessant que la solució trobada en el programa, es pogués extreure de tal manera que es pogués enviar directament a cadascun dels proveïdors, prèvia revisió del responsable del departament de Compra de Carn.

8. Pressupost

Descripció	UA	Unitats	Preu unitari (€/u)	Import (€)
Capítol 1: Mà d'obra				
1.1. Presa de dades				855,00
Reunió amb l'empresa	h	3	35,00	
Recerca d'informació	h	50	15,00	
1.2. Anàlisi				4.675,00
Aprenentatge del programari	h	50	5,00	
Anàlisi de dades de l'empresa	h	15	20,00	
Modelització del model	h	15	25,00	
Programació del sofeware	h	150	25,00	
1.3. Redacció				2.500,00
Redacció de la memòria	h	125	20,00	
Total capítol 1: Mà d'obra:				8.030,00
Capítol 2: Material				
Programari (Python, Gurobi, Gusek, Word)	u	4	0,00	0,00
Ordenador	u	0,05	1.200,00	60,00
Total capítol 2: Material:				60,00

Cost directe 8.090,00

Despeses indirectes (5%) 404,50

Preu sense IVA 8.494,50

IVA (21%) 1.783,85

TOTAL 10.278,35

El pressupost puja l'esmentada quantitat de DEU MI DOS-CENTS SETANTA-VUIT EUROS amb TRENTA-CINC cèntims.

9. Bibliografia

- [1] AECOC. (2020). Tendencias y retos en el sector cárnico. Recuperat 13 d'abril de 2020, de Asociación de Fabricantes y Distribuidores <https://www.aecoc.es/articulos/tendencias-y-retos-en-el-sector-carnico/>
- [2] Arreola, J., Arreola, A. (2003). *Programación Lineal. Una introducción a la toma de decisiones cuantitativa*. México: Thomson.
- [3] Asociación Nacional de Industrias de la Carne de España. (2020). Recuperat 13 d'abril de 2020, de ANICE https://www.anice.es/industrias/area-de-prensa/el-sector-carnico-espanol_213_1_ap.html
- [4] ARAL. (2019). La conveniencia empuja a los elaborados cárnicos hacia formatos "on the go". (2018). Recuperat 3 de juny de 2020, de Aral Revista del Gran Consumo https://www.revistaaral.com/estudios-de-mercado/la-conveniencia-empuja-a-los-elaborados-carnicos-hacia-formatos-on-the-go_379216_102.html
- [5] Barreiro, D. (2011). Estudio de la competitividad en el sector cárnico de la Unión Europea. *Eurocarne*. 56-60.
- [6] Bautista, J., (1997). *Empresarials, Gestió d'estocs*. Barcelona, Espanya: UOC (Universitat Oberta de Catalunya).
- [7] Belil, M. (1988). La organización de sistemas de producción: el caso de las redes de subcontratación. *Documents d'anàlisi geogràfica*. 22-33.
- [8] Blomhøj, M. (2006). Modelización Matemática – Una Teoría para la Práctica. *IMFUFA, Roskilde University*, 20-35. MODELITZACIÓ TEORIA
- [9] Cáceres, D., Reyes, J., García, M., Sanchez, C. (2015). Modelo de Programación lineal para planeación de requerimiento de materiales. *Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador*, 25-32. ARTICLES MODELS MODELITZACIÓ
- [10] Carro, L. (2017). Casademont se integra en el Grupo Aragonés Costa y mantiene plantilla. Recuperat 3 de juny de 2020, de Europapress <https://www.europapress.es/economia/noticia-casademont-integra-grupo-aragones-costa-mantiene-plantilla-20171031122509.html>

- [11] Casademont. (2020). Recuperat 3 de juny de 2020, de Casademont <https://www.casademont.com>
- [12] Castillo, J. (2003). El nivel óptimo de stock para la pequeña empresa. *Gestión en el Tercer Milenio*. 1-9.
- [13] Clemente, P. (2020). El sector agroalimentari manté el tron com a primera indústria catalana. Recuperat 3 de juny de 2020, de Diari Ara https://www.ara.cat/economia/agroalimentari-industria-Catalunya_0_2379962139.html
- [14] Companys, R., Corominas, A., (1995). *Organización de la producción II : dirección de operaciones*. Barcelona, Espanya: Edicions UPC.
- [15] DBK cifra la facturación del sector de derivados cárnicos en 7.000 millones de euros en 2018. (2019). Recuperat 3 de juny de 2020, de Eurocarne <https://eurocarne.com/noticias/codigo/42538/kw/DBK%20cifra%20la%20facturaci%C3%B3n%20del%20sector%20de%20derivados%20c%C3%A1rnicos%20en%207.000%20millones%20de%20euros%20en%202018>
- [16] Dolcet, J., Pons, I., (2010). *Els Embotits de Catalunya*. Barcelona, Espanya: Edicions 62.
- [17] Evolución del número de empresas del sector carnico . (2020). Recuperat 3 de juny de 2020, de Mglobal <https://www.idepa.es/conocimiento/flash-sectorial/sector-carnico/el-sector-en-espana/informacion-general>
- [18] Eurocarne Digital (2019). DBK cifra la facturación del sector de derivados cárnicos en 7.000 millones de euros en 2018. (2019). Recuperat 3 de juny de 2020, de Eurocarne <https://eurocarne.com/noticias/codigo/42538/kw/DBK%20cifra%20la%20facturaci%C3%B3n%20del%20sector%20de%20derivados%20c%C3%A1rnicos%20en%207.000%20millones%20de%20euros%20en%202018>
- [19] Frey, W., (1985). *Fabricación fiable de embutidos: guía para el técnico*. Zaragoza, España: Acribia.
- [20] Galián, M. (2007). *Características de la canal y calidad de la carne, composición mineral y lipídica del cerdo Chato Murciano y su cruce con Ibérico. Efecto del sistema de manejo* (tesis doctoral). Universidad de Murcia, Murcia.

[21] Generalitat de Catalunya (2020). El sector agroalimentari a Catalunya. PRODECA.

[22] Generalitat de Catalunya. Departament d'Empresa i Coneixement (2017). Informe anual sobre la indústria a Catalunya. *Observatori de la indústria*. 27-37.

[23] Greca, I., Moreira, M. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Instituto de Física, UFTGS*, 108-114. MODELITZACIÓ TEORIA

[24] La conveniencia empuja a los elaborados cárnicos hacia formatos "on the go". (2018). Recuperado 11 de maig de 2020, de Revista Astral https://www.revistaaral.com/estudios-de-mercado/la-conveniencia-empuja-a-los-elaborados-carnicos-hacia-formatos-on-the-go_379216_102.html

[25] La indústria càrnia és el principal sector agroalimentari de Catalunya. (2020). Recuperat 3 de juny de 2020, de Prodeca <https://prodeca.cat/ca/sectors/el-sector-de-la-carn-i-embotits>

[26] Lamelas, M. (2017). Auge y caída de Adriana Casademont, de reina del embutido a concurso vergonzante. Recuperat 3 de juny de 2020, de El Confidencial https://www.elconfidencial.com/empresas/2017-08-15/auge-caida-adriana-casademont-reina-embutido-concurso_1428878/

[27] López, C., Fructuoso, G., Mateos, G. (2009). Sistemas de producción porcina y calidad de la carne. El cerdo ibérico. *XVI Curso de Especialización FEDNA*. 1-13.

[28] Mendible, A., Ortiz, J. (2007). Modelización Matemática en la Formación de Ingenieros. La importància del Contexto. *Enseñanza de la Matemática*, 133-147. MODELITZACIÓ TEORIA

[29] Mesonero, M., Alcaide, J.; amb la col·laboració de Prieto, O., Brizuela, J., (2012). *Marketing industrial: cómo orientar la gestión comercial a la relación rentable y duradera con el cliente*. Madrid, España: ESIC.

[30] Mokotoff, E. (2004). *Programación lineal. Resolución de Problemas en Hoja de Cálculo*. Oviedo, España: Septem Ediciones.

[31] Munné, M. (2019). Los indicadores de compra y consumo de carnes: entendiendo al comprador. Recuperat 3 de juny de 2020, de AECOC

<https://www.aecoc.es/articulos/los-indicadores-de-compra-y-consumo-de-carnes-entendiendo-al-comprador/>

[32] Ortuño, R. (2019). Innovación en el sector cárnico: Lo saludable, sostenible y seguro marcan tendencia. Recuperat 3 de juny de 2020, de Ainia.

<https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/consumidor/innovacion-sector-carnico/>

[33] Pedrals, M., Ramis, L., Pezzi, A., (2010). *Estratègies de creixement a la indústria alimentària de Catalunya : productes "gourmet" i servei al canal "foodservice"*. Barcelona, Espanya : Generalitat de Catalunya, Departament d'Innovació, Universitats i Empresa.

[34] Pienso Costa. (2020). Recuperat 3 de juny de 2020, de Costa Food

<https://costafood.com/piensos-costa/>

[35] Ranking Nacional de Empresas por Facturación. (2020). Recuperat 3 de juny de 2020, de El Economista Ranking Nacion

https://ranking-empresas.eleconomista.es/ranking_empresas_nacional.html

[36] Rebollar, S., Hernández, J., Rojo, R., Cardoso, D., Rodríguez-Licea, G., Guzmán-Soria, E. (2008). La programación lineal en la elaboración de mezcla de fertilizantes. *Panorama Administrativo*, 33-49.

[37] Romo-Vázquez, A. (2013). La modelización matemática en la formación de ingenieros. *Educación matemática*, 315-325.

[38] Salvatierra, J. (2017). La empresa catalana de fuets Casademont, adquirida por el grupo aragonés Costa. Recuperat 3 de juny de 2020, de El País

https://elpais.com/economia/2017/10/31/actualidad/1509448719_283827.html

[39] Soto, C., Reinoso, V. (2012). Modelo de formulación de raciones al mínimo costo para ganado de carne basado en el sistema NRC 2000. *Arch. Zootec*, 255-266.

[40] Tendencias y retos en el sector cárnico. (2020). Recuperat 3 de juny de 2020, de Asociación de Fabricantes y Distribuidores

<https://www.aecoc.es/articulos/tendencias-y-retos-en-el-sector-carnico/>

[41] Todo lo que debes saber sobre la industria cárnica en España. (2020).

Recuperat 3 de juny de 2020, de Pilarica: <http://www.pilarica.es/lo-debes-saber-la-industria-carnica-espana/>

[42] Villa, J. (2007). La modelización como proceso en el aula de matemáticas: un marco de referencia y un ejemplo. *Tecno-Logicas*, 64-69

ANNEX A. CODI INFORMÀTIC

El codi del programa de *Python* per a la minimització de matèria primera consta de dues parts diferents:

La primera part correspon a les comandes que s'encarreguen d'optimitzar el problema a partir de les dades incorporades. La segona part és on s'importen i s'exporten les dades des de l'*Excel* al *Python* i des del *Python* a l'*Excel* respectivament.

A.1. Fitxer ProgLineCasademont

```
import sys
from gurobipy import *

#S'importen les dades de l'Excel mitjançant la funció ExcellImporter
import ExcellImporter as EI

#####
##INPUT DATA#####
#####

excelFilename = "tfg_oriol.xlsx"

#S'executa la comanda de importar dades de l'Excel
excelData = EI.GetData(excelFilename)
products = excelData[0]
orders = excelData[1]

#Es crea una variable que defineix els dies de la setmana
dies = ["dilluns", "dimarts", "dimecres", "dijous", "divendres"]

#S'agafa les dades de Numero d'ordre de l'Excel
orders_number = []
for order in orders:
```

```
orders_number.append(str(order.orderNumber))

#S'agafa les dades del dia de les ordres
dies_orders = []
for order in orders:
    dies_orders.append(order.day)

#Es crea un diccionari: Numero Ordre - Dia Ordre
orders_dia = dict(zip(orders_number, dies_orders))

#S'agafa les dades de la quantitat de magre necessària en cada ordre
required_lean = []
for order in orders:
    required_lean.append(order.leanPercentage)

#S'agafa les dades de la quantitat de kg necessària en cada ordre
total_mass = []
for order in orders:
    total_mass.append(order.meatKg)

#Es crea un diccionari: Numero Ordre - Magre necessari Ordre
required_lean_orders=dict(zip(orders_number,required_lean))

#Es crea un diccionari: Numero Ordre - Kg necessaris Ordre
total_mass_orders=dict(zip(orders_number,total_mass))

#S'agafa les dades dels proveïdors
supplier = []
for product in products:
    supplier.append(product.providerName)
```

```
#S'agafa les dades dels productes de cada proveïdor
```

```
bodypart = []
```

```
for product in products:
```

```
    bodypart.append(product.productID)
```

```
#Es tracten les dades, per construir una matriu, de Proveïdors-Productes
```

```
suppliers = []
```

```
for x in supplier:
```

```
    if x not in suppliers:
```

```
        suppliers.append(x)
```

```
bodyparts = []
```

```
for x in bodypart:
```

```
    if x not in bodyparts:
```

```
        bodyparts.append(x)
```

```
meat_types=[(i,j) for i in suppliers for j in bodyparts]
```

```
#S'agafa les dades de la quantitat de magre de cada producte
```

```
provided_lean = []
```

```
for product in products:
```

```
    provided_lean.append(product.leanPercentage)
```

```
#Es crea un diccionari: Producte - Quantitat magre
```

```
meat_types_lean=dict(zip(meat_types,provided_lean))
```

```
#S'agafa les dades de la quantitat mínima a comprar de cada producte
```

```
min_quant = []
```

```
for product in products:
```

```
    min_quant.append(product.qtMin)
```

```
#Es crea un diccionari: Producte - Quantitat mínima
```

```
meat_types_minquant=dict(zip(meat_types,min_quant))
```



```
#S'agafa les dades de la quantitat màxima a comprar de cada producte
max_quant = []
for product in products:
    max_quant.append(product.qtMax)

#Es crea un diccionari: Producte - Quantitat màxima
meat_types_maxquant=dict(zip(meat_types,max_quant))

#S'agafa les dades del preu de cada producte
price = []
for product in products:
    price.append(product.price)

#Es crea un diccionari: Producte - Preu
meat_types_price=dict(zip(meat_types,price))

storecost=0

model = Model('Casademont_Oriol')

#####
##VARIABLES#####
#####

#Quantitat comprada de cada producte, en funció dels dies
amount = model.addVars(suppliers, bodyparts, dies, name="Amount")

#Quantitat usada de cada producte, en funció dels dies
use = model.addVars(suppliers, bodyparts, orders_number, name="Use")

#Quantitat d'estoc de cada producte, en funció dels dies
stock = model.addVars(suppliers, bodyparts, dies, name="Stock")
```

#Variable binària que determina si es compra o no un producte, en funció dels dies

```
buy = model.addVars(suppliers, bodyparts, dies, vtype=GRB.BINARY,
name="Buy")
```

#Variable binària que determina si es pot usar un producte per fer una ordre

```
possible_use=model.addVars(suppliers, bodyparts, orders_number,
vtype=GRB.BINARY, name="Pos_use")
```

```
model.update()
```

```
#####
```

```
## CONSTRAINTS #####
```

```
#####
```

#RESTRICCIÓ 1

```
model.addConstrs((amount[sup, body, dia] - (quicksum(use[sup,body,order]
for order in orders_number if orders_dia[order]==dia)) == stock[sup, body,dia]
for sup in suppliers for body in bodyparts for dia in dies if dia == dies[0]),
name="Initial_Balance")
```

#RESTRICCIÓ 2

```
model.addConstrs((amount[sup, body, dia] +
stock[sup,body,dies[dies.index(dia)-1]] - (quicksum(use[sup,body,order] for
order in orders_number if orders_dia[order]==dia)) == stock[sup, body,dia] for
sup in suppliers for body in bodyparts for dia in dies
if dia != dies[0]),
name="balance")
```

#RESTRICCIÓ 3

```
model.addConstrs((amount[sup, body, dia] <= meat_types_maxquant[sup,
body] * buy[sup, body, dia]
for sup in suppliers for body in bodyparts for dia in dies),
name="maximum_Supply")
```

#RESTRICCIÓ 4

```
model.addConstrs((amount[sup, body, dia] >= meat_types_minquant[sup, body]
* buy[sup, body, dia]
    for sup in suppliers for body in bodyparts for dia in dies),
    name="minimum_Supply")
```

#RESTRICCIÓ 5

```
model.addConstrs(((quicksum(use[sup,body,order] for sup in suppliers for body
in bodyparts)) ==
    total_mass_orders[order] for order in orders_dia),
    name="satifer_orders")
```

#RESTRICCIÓ 6

```
model.addConstrs(((quicksum(use[sup,body,order] *
meat_types_lean[sup,body] for sup in suppliers for body in bodyparts)) ==
    total_mass_orders[order] * required_lean_orders [order] for order in
orders_dia),
    name="satifer_lean_orders")
```

```
#####
```

```
##OBJECTIVE FUNCION#####
```

```
#####
```

#FUNCIO OBJECTIU

```
obj = (quicksum (quicksum(amount[sup,body,dia] for dia in dies) *
    meat_types_price[sup,body] for sup in suppliers for body in bodyparts)
+ (quicksum (quicksum(stock[sup,body,dia] for dia in dies) *
    storecost for sup in suppliers for body in bodyparts)))
```

```
model.setObjective(obj, GRB.MINIMIZE)
```

```
#S'executa el programa
```

```
model.optimize()
```

```
#####  
##GENERATED REPORT#####  
#####
```

```
#Es mostren els resultats de la solució a la consola
```

```
for v in model.getVars():
```

```
    if v.X != 0:
```

```
        print("%s %f" % (v.Varname, v.X))
```

```
a = model.getVarByName("Amount")
```

```
b = model.getVars()
```

```
#S'exporten les dades a l'Excel
```

```
EI.ExportDataToExcel(excelFilename, products, suppliers, dies, model)
```

A.2. Fitxer ExcellImporter

```
import openpyxl  
from openpyxl.styles import PatternFill, Border, Side, Alignment, Protection,  
Font
```

```
#####  
##### CLASSES #####  
#####
```

Es crea la classe Producte, que conté totes aquestes variables:

```
class Product:  
    def __init__(self):  
        self.providerName = "  
        self.productID = "  
        self.name = "  
        self.qtMax = 0.0  
        self.qtMin = 0.0  
        self.leanPercentage = 0.0  
        self.price = 0.0
```

#Es crea la classe Ordre, que està composta per les següents variables:

```
class Order:  
    def __init__(self):  
        self.orderNumber = "  
        self.productName = "  
        self.meatKg = 0  
        self.leanPercentage = 0.0  
        self.day = ''
```

```
#####  
##### FUNCIONS #####  
#####
```

#Funció que té l'objectiu de buscar una paraula donada (content), en la fulla de l'Excel (sheet), i ens retorna la fila i la columna de l'Excel en la qual es troba la paraula a buscar.

```
def GetRowColFromTableName(sheet, content):
    indexes = []
    for rowidx in list(range(1, sheet.max_row + 1)):
        for colidx in list(range(1, sheet.max_column + 1)):
            if sheet.cell(row = rowidx, column=colidx).value == content:
                indexes.append( rowidx+1)
                indexes.append( colidx )
    return indexes
```

#Funció que agafa les dades de l'Excel

```
def GetData(filepath):
```

#Variables on s'indica la paraula que el programa ha de buscar a l'Excel per començar a llegir les dades.

```
STARTING_PROVIDER_COLUMN_NAME = 'Proveïdor'
STARTING_ORDER_COLUMN_NAME = 'Numero de comanda'
```

#Es defineix dos Array, una de Productes i una Ordres.

```
products = []
orders = []
```

#S'escriu en consola que s'està llegint l'Excel

```
print('Parsing file ' + filepath + '...')
```

#S'obra el fitxer d'Excel que hi ha en la carpeta

```
file = openpyxl.load_workbook(filepath)
```

#S'obra la fulla "Dat_Ent" del fitxer d'Excel obert prèviament

```
sheet = file.get_sheet_by_name("Dad_Ent")
```

#Implementem la funció que busca la paraula que hem indicat prèviament i retorna la fila i la columna en la qual es trobava

```
productsIndex = GetRowColFromTableName(sheet,  
STARTING_PROVIDER_COLUMN_NAME)
```

```
productsRow = productsIndex[0]
```

```
productsCol = productsIndex[1]
```

#Es torna a implementar de nou la funció però amb la paraula: 'Numero de comanda'

```
ordersIndex = GetRowColFromTableName(sheet,  
STARTING_ORDER_COLUMN_NAME)
```

```
ordersRow = ordersIndex[0]
```

```
ordersCol = ordersIndex[1]
```

#Es llegeixen totes les dades dels Productes

```
for rowidx in list(range(productsRow, sheet.max_row + 1)):
```

```
    #Es crea un objecte Proveïdor on es van guardant les dades importades
```

```
    tempProduct = Product()
```

```
    tempProduct.providerName = sheet.cell(row = rowidx,  
column=productsCol).value
```

```
    tempProduct.productID = sheet.cell(row = rowidx,  
column=productsCol+1).value
```

```
    tempProduct.name = sheet.cell(row = rowidx,  
column=productsCol+2).value
```

```
    tempProduct.qtMax = sheet.cell(row = rowidx,  
column=productsCol+3).value
```

```
    tempProduct.qtMin = sheet.cell(row = rowidx,  
column=productsCol+4).value
```

```
    tempProduct.leanPercentage = sheet.cell(row = rowidx,  
column=productsCol+5).value
```

```
    tempProduct.price = sheet.cell(row = rowidx,  
column=productsCol+6).value
```

```
#Es comprova que el producte s'hagi creat correctament
```

```
if tempProduct.name != None:
```

```
    products.append(tempProduct)
```

```

#Es llegeixen totes les dades de les ordres de producció
for rowidx in list(range(ordersRow, sheet.max_row + 1)):
    #Es crea un objecte Ordres on es van guardant les dades importades
    tempCommanda = Order()

    tempCommanda.orderNumber = sheet.cell(row = rowidx,
        column=ordersCol).value

    tempCommanda.productName = sheet.cell(row = rowidx,
        column=ordersCol+1).value

    tempCommanda.meatKg = sheet.cell(row = rowidx,
        column=ordersCol+2).value

    tempCommanda.leanPercentage = sheet.cell(row = rowidx,
        column=ordersCol+3).value

    tempCommanda.day = sheet.cell(row = rowidx,
        column=ordersCol+4).value

    #Es comprova que el producte s'hagi creat correctament
    if tempCommanda.orderNumber != None:
        orders.append(tempCommanda)

return products, orders

```

```

#####
##### EXPORT DATA #####
#####

```

#Funció que té l'objectiu de dividir la solució obtinguda a partir del Gurobi en cadascun dels seus components, per poder fer un millor tractament de les dades

```

def GetArgumentsFromName(name):
    result = {}
    name = name.VarName
    result["varName"] = name.split("[")[0]
    result["varSupp"] = name.split("[")[1].split(",")[0]
    result["varPID"] = name.split("[")[1].split(",")[1]
    result["varDay"] = name.split("[")[1].split(",")[2].replace("[", "")

```



```
return result
```

#Funció que té l'objectiu de relacionar l'ID del producte amb el nom col·loquial del producte, per donar una informació més clara a la sortida.

```
def GetProductNameFromID(productList, productID):
```

```
    for p in productList:
        if p.productID == productID:
            return p.name
```

#Funció que té l'objectiu de crear una llista amb tots els proveïdors, productes i dies que apareixen en la solució, descartant aquells proveïdors, productes i dies, que no hi apareixen.

```
def GetSplittedData(DataArray, SplittedData):
```

```
    for data in DataArray:
        args = GetArgumentsFromName(data)

        if args["varSupp"] not in SplittedData["Providers"]:
            SplittedData["Providers"].append(args["varSupp"])

        if args["varPID"] not in SplittedData["Products"]:
            SplittedData["Products"].append(args["varPID"])

        if args["varDay"] not in SplittedData["Days"]:
            SplittedData["Days"].append(args["varDay"])

    return SplittedData
```

#Funció principal que té l'objectiu d'exportar les dades de la solució a l'Excel

```
def ExportDataToExcel(filename, products, suppliers, days, modelData):
```

```
    #S'escriu a la consola que s'estan exportant les dades
    print('Exporting data to ' + filename)
```

```

#S'obra l'Excel que es troba a la carpeta indicada
file = openpyxl.load_workbook(filename)
#S'obra la fulla: "Dad_Sort", i si no existeix, es crea
sheet = file["Dad_Sort"]
if sheet is None:
    sheet = file.create_sheet(title="Dad_Sort")

#S'escriu en les cel·les indicades les tres paraules, que s'usaran de
referència, amb el format (.font) que desitgem.
sheet.cell(row=15, column=1).value = "Dades Optimitzades"
sheet.cell(row=15, column=1).font = Font(bold=True, underline='single',
size=20)

sheet.cell(row=17, column=1).value = "Ordres de compra"
sheet.cell(row=17, column=1).font = Font(bold=True, underline='single',
size=20)

sheet.cell(row=20, column=1).value = "DILLUNS"

#Es crea un Índex, i es situa a la cel·la corresponent
startIndex = [20, 1]

#Es creen les 4 llistes de variables que es volen obtenir a la sortida
Amount = []
Use = []
Buy = []
Stock = []

#Es crea un diccionari amb cadascuna de les components de les variables
de sortida
AmountSplittedData = {
    "Providers": [],
    "Products": [],

```

```
        "Days":[]
    }
UseSplittedData = {
    "Providers":[],
    "Products":[],
    "Days":[]
}
BuySplittedData = {
    "Providers":[],
    "Products":[],
    "Days":[]
}
StockSplittedData = {
    "Providers":[],
    "Products":[],
    "Days":[]
}
```

#S'agafa els valors obtinguts en la solució del Gurobi i es classifiquen en funció del nom de la variable en la sortida.

```
for dataValue in modelData.getVars():
```

```
    #S'imposa que només es tractin les variables amb un valor major a 0.
```

```
    if dataValue.X > 0:
```

```
        #Es classifica els valors de la sortida que comencin per Amount, i es guarden, per poder-los utilitzar posteriorment
```

```
        if dataValue.Varname.startswith("Amount"):
```

```
            Amount.append(dataValue)
```

```
            AmountSplittedData = GetSplittedData(Amount, AmountSplittedData)
```

```
        #Es repeteix el procediment anterior per les tres variables de sortida
```

```
        elif dataValue.Varname.startswith("Use"):
```

```
            Use.append(dataValue)
```

```
            UseSplittedData = GetSplittedData(Use, UseSplittedData)
```

```

elif dataValue.Varname.startswith("Buy"):
    Buy.append(dataValue)
    BuySplittedData = GetSplittedData(Buy, BuySplittedData)

elif dataValue.Varname.startswith("Stock"):
    Stock.append(dataValue)
    StockSplittedData = GetSplittedData(Stock, StockSplittedData)

```

#Es crea el DataLiteral: es correspon al nom que tindrà cada taula en l'Excel de sortida.

#Es crea el DataName: indica quin és el nom del dataArray de la taula que pertany a la solució del Gurobi.

```
AmountSplittedData["DataLiteral"] = "Ordres de compra"
```

```
AmountSplittedData["DataName"] = "Amount"
```

```
UseSplittedData["DataLiteral"] = "Compres"
```

```
UseSplittedData["DataName"] = "Use"
```

```
BuySplittedData["DataLiteral"] = "Ordres de fabricacio"
```

```
BuySplittedData["DataName"] = "Buy"
```

```
StockSplittedData["DataLiteral"] = "Estoc actual"
```

```
StockSplittedData["DataName"] = "Stock"
```

#Es creen dos variables amb tots els splits que volem que surtin a l'Excel

```
DataTables = [AmountSplittedData, StockSplittedData]
```

```
DataArrays = [Amount, Stock]
```

#S'anota el valor del cost total de proveïment

```
sheet.cell(row=11, column=4).value = modelData.ObjVal
```

```
sheet.cell(row=11, column=4).font = Font(bold=True, size=15)
```

#Es crea el boocle principal per a recórrer cada taula de la sortida

```
for index in range(len(DataTables)):
    StartIndex = WriteData(sheet, StartIndex, DataTables[index],
    DataArrays[index], products)

    #S'escriuen els títols de les taules, a l'Excel de sortida, en el format
    corresponent

    if index is not len(DataTables) - 1:
        StartIndex[0] = StartIndex[0] + 3

        print("Literal: " + DataTables[index+1]["DataLiteral"] + "Coord:
        "+str(StartIndex[0])+", "+str(StartIndex[1]))

        sheet.cell(row=StartIndex[0], column=StartIndex[1]).value =
        DataTables[index+1]["DataLiteral"]

        sheet.cell(row=StartIndex[0], column=StartIndex[1]).font =
        Font(bold=True, underline='single', size=20)

        StartIndex[0] = StartIndex[0] + 2

StartIndex[0] = StartIndex[0] + 3
StartIndex[1] = 1

#Es creen dues variables que marquen la separació entre taules i la columna
on es comença a escriure
ROWS_BETWEEN_TABLES = 4
STARTING_COLUMN = 2

#S'obra l'Excel que es troba a la carpeta indicada
sheet = file["Dad_Sort2"]

#S'obra la fulla: "Dad_Sort", i si no existeix, es crea
if sheet is None:
    sheet = file.create_sheet(title="Dad_Sort2")

#Situem la variable que recorre les taules a la posició inicial
CurrentIndex = [7,STARTING_COLUMN]

#Agafem la tercera component del Use
Orders = UseSplittedData["Days"]
```

```
#S'ordena les comandes per numero
```

```
numOrders = []
for order in Orders:
    numOrders.append(int(order))
numOrders.sort()
Orders = []
for numOrder in numOrders:
    Orders.append(str(numOrder))
```

```
#Es fa un boocle per a cadascuna de les ordres que hi ha
```

```
for order in Orders:
    #S'escriu la paraula 'Comanda' i el numero que s'està tractant
    sheet.cell(row=CurrentIndex[0], column=CurrentIndex[1]).value =
    "Comanda " + str(int(float(order)))
    sheet.cell(row=CurrentIndex[0], column=CurrentIndex[1]).font =
    Font(bold=True, underline='single', size=20)
```

```
#Es deixa una fila en blanc entre les dades de dos comandes
```

```
CurrentIndex[0] = CurrentIndex[0] + 2
```

```
#Es creen tres llistes amb els següents noms
```

```
orderProviders = []
orderProducts = []
orderData = []
```

```
for data in Use:
```

```
    #S'implementa la funció per obtenir les dades del Use individualment
```

```
    dataArgs = GetArgumentsFromName(data)
```

```
    #Es comprova si la dada tractada coincideix amb el numero de comanda
    que es busca
```

```
    if dataArgs["varDay"] == order:
```

```
        #Si la dada pertany a aquesta comanda, s'afegeix a la llista
```

```
        if dataArgs["varPID"] not in orderProducts:
```

```
orderProducts.append(dataArgs["varPID"])
if dataArgs["varSupp"] not in orderProviders:
    orderProviders.append(dataArgs["varSupp"])
orderData.append(data)
```

#Quan es tenen les dades dels proveïdors de cada comanda, s'escriuen a l'Excel

```
for index in range(len(orderProviders)):
    sheet.cell(row=CurrentIndex[0]+index+1, column=CurrentIndex[1]).value = orderProviders[index]
    sheet.cell(row=CurrentIndex[0]+index+1, column=CurrentIndex[1]).font = Font(bold=True)
    sheet.cell(row=CurrentIndex[0]+index+1, column=CurrentIndex[1]).fill = PatternFill(fill_type='solid', start_color='F0E68C')
```

#Quan es tenen les dades dels productes de cada comanda, s'escriuen a l'Excel

```
for index in range(len(orderProducts)):
    sheet.cell(row=CurrentIndex[0], column=CurrentIndex[1]+index+1).value = orderProducts[index]
    sheet.cell(row=CurrentIndex[0], column=CurrentIndex[1]+index+1).font = Font(bold=True)
    sheet.cell(row=CurrentIndex[0], column=CurrentIndex[1]+index+1).fill = PatternFill(fill_type='solid', start_color='F0E68C')
```

#S'escriuen els valors a la cel·la corresponent

```
for data in orderData:
    # Comprovem que sigui la comanda actual (Els números de comanda els guardem a la variable varDay)
    dataArgs = GetArgumentsFromName(data)
    if dataArgs["varDay"] == order:
        cellToWrite = [0,0]
        dataArgs = GetArgumentsFromName(data)
        #Es busca la fila (proveïdor) a la qual pertany el valor
        for index in range(len(orderProviders)):
```

```

if orderProviders[index] == dataArgs["varSupp"]:
    cellToWrite[0] = CurrentIndex[0] + index + 1

#Es busca la fila (producte) a la qual pertany el valor
for index in range(len(orderProducts)):
    if orderProducts[index] == dataArgs["varPID"]:
        cellToWrite[1] = CurrentIndex[1] + index + 1

#Finalment s'escriu el valor a la taula
if cellToWrite[0] != 0 and cellToWrite[1] != 0:
    sheet.cell(row=cellToWrite[0], column=cellToWrite[1]).value =
    data.X

#S'actualitza l'índex i es deixa dos espais
CurrentIndex[0] = CurrentIndex[0] + 2 + len(orderProviders)

#Es prepara l'índex per la següent sempre i quan no sigui l'ultima
if order is not Orders[-1]:
    CurrentIndex[0] = CurrentIndex[0] + ROWS_BETWEEN_TABLES
    CurrentIndex[1] = STARTING_COLUMN

#Finalment es guarda tot a l'arxiu
file.save(filename)

#Funció principal que té l'objectiu d'escriure les dades de sortida a l'Excel
def WriteData(sheet, StartIndex, SplittedData, Data, products):
    strDays = ["dilluns", "dimarts", "dimecres", "dijous", "divendres"]
    CurrentIndex = StartIndex.copy()
    currentDay = 0

    for day in strDays:

```



```
currentDay = currentDay + 1
```

```
ProductIndexes = {}
```

```
ProviderIndexes = {}
```

```
#S'escriu a la cel·la corresponent el Dia
```

```
sheet.cell(row=CurrentIndex[0], column=CurrentIndex[1]).value =  
day.upper()
```

```
sheet.cell(row=CurrentIndex[0], column=CurrentIndex[1]).font =  
Font(bold=True, underline='single')
```

```
#S'escriu a la cel·la corresponent el nom del títol de la taula
```

```
sheet.cell(row=CurrentIndex[0], column=CurrentIndex[1] + 1).value =  
SplittedData["DataLiteral"]
```

```
sheet.cell(row=CurrentIndex[0], column=CurrentIndex[1] + 1).font =  
Font(bold=True)
```

```
#S'escriuen la paraula ID a la cel·la corresponent, amb el format adequat
```

```
sheet.cell(row=CurrentIndex[0] + 1, column=CurrentIndex[1] + 1).value =  
"ID"
```

```
sheet.cell(row=CurrentIndex[0] + 1, column=CurrentIndex[1] + 1).font =  
Font(bold=True)
```

```
sheet.cell(row=CurrentIndex[0] + 1, column=CurrentIndex[1] + 1).fill =  
PatternFill(fill_type='solid', start_color='9DA3A3')
```

```
#S'escriuen la paraula ID a la cel·la corresponent, amb el format adequat
```

```
sheet.cell(row=CurrentIndex[0] + 1, column=CurrentIndex[1] + 2).value =  
"NOM"
```

```
sheet.cell(row=CurrentIndex[0] + 1, column=CurrentIndex[1] + 2).font =  
Font(bold=True)
```

```
sheet.cell(row=CurrentIndex[0] + 1, column=CurrentIndex[1] + 2).fill =  
PatternFill(fill_type='solid', start_color='9DA3A3')
```

```
#S'escriuen l'ID i nom dels Productes que apareixen en la solució del  
problema resolt
```

```
ProductIndex = CurrentIndex.copy()
```

```

ProductIndex[0] = ProductIndex[0] + 2
ProductIndex[1] = ProductIndex[1] + 1
for product in SplittedData["Products"]:
    productName = ""
    #Es relaciona l'ID amb el nom del producte i s'escriuen ambdós.
    for p in products:
        if p.productID == product:
            productName = p.name

    #Es procedeix a escriure el Nom i l'ID dels productes de la solució
    if productName is not "":
        sheet.cell(row=ProductIndex[0], column=ProductIndex[1]).value =
            product
        sheet.cell(row=ProductIndex[0], column=ProductIndex[1]).font =
            Font(bold=True)
        sheet.cell(row=ProductIndex[0], column=ProductIndex[1]).fill =
            PatternFill(fill_type='solid', start_color='FAEBD7')

        sheet.cell(row=ProductIndex[0], column=ProductIndex[1] + 1).value =
            productName
        sheet.cell(row=ProductIndex[0], column=ProductIndex[1] + 1).font =
            Font(bold=True)
        sheet.cell(row=ProductIndex[0], column=ProductIndex[1] + 1).fill =
            PatternFill(fill_type='solid', start_color='FAEBD7')

        ProductIndexes[product] = ProductIndex[0]

    ProductIndex[0] = ProductIndex[0] + 1

#S'escriu el nom dels proveïdors que apareixen en la solució del problema
result.
ProviderIndex = CurrentIndex.copy()
ProviderIndex[0] = ProviderIndex[0] + 1
ProviderIndex[1] = ProviderIndex[1] + 3

```

```
for provider in SplittedData["Providers"]:  
    sheet.cell(row=ProviderIndex[0], column=ProviderIndex[1]).value =  
        provider  
  
    sheet.cell(row=ProviderIndex[0], column=ProviderIndex[1]).font =  
        Font(bold=True)  
  
    sheet.cell(row=ProviderIndex[0], column=ProviderIndex[1]).fill =  
        PatternFill(fill_type='solid', start_color='FAEBD7')  
  
    ProviderIndexes[provider] = ProviderIndex[1]  
    ProviderIndex[1] = ProviderIndex[1] + 1
```

#S'escriuen els valors numèrics de la solució a la taula de sortida de l'Excel creada anteriorment

```
for value in Data:  
    Args = GetArgumentsFromName(value)  
    if Args["varDay"] == day:  
        sheet.cell(row=ProductIndexes[Args["varPID"]],  
                  column=ProviderIndexes[Args["varSupp"]]).value = value.X
```

#Mentre no s'arriba a l'últim dia, s'escriu el següent dia, on correspon

```
if day is not strDays[-1]:#SplittedData["Days"][-1]:  
    CurrentIndex[0] = StartIndex[0]  
    CurrentIndex[1] = StartIndex[1] + (1 + 1 + 2 + len  
        (SplittedData["Providers"])) * currentDay
```

```
StartIndex[0] = StartIndex[0] + len(SplittedData["Products"])
```

```
return StartIndex
```