

- Laboratori 02 -

Disseny d'Experiments sobre el Model de Distribució de Paqueteria

Simulació

Q1 2025/2026

Javier Zhangpan

Laura Adell Caballero

1. Index

1. Index	2
2. Identificació de la Variable Resposta	3
3. Identificació dels Factors	4
4. Disseny Factorial 2^k	6
5. Rèpliques i anàlisi estadístic	8
6. Validació de Precisió	12
7. Algorisme de Yates	15
7.1 Efecte principal de cada factor:	15
7.2 Efecte d'interacció de segon ordre:	16
7.3 Efecte d'interacció de tercer ordre:	17
7.4 Efecte d'interacció de quart ordre:	18
8. Recomanacions	19

2. Identificació de la Variable Resposta

En aquesta pràctica hem modificat parcialment el codi python del model implementat en l'anterior, de manera que els paquets que el centre de distribució reparteix ara tenen un valor monetari entre 10 i 100 associat a ells. Aquest valor segueix una distribució uniforme.

D'aquesta manera, identifiquem el benefici total que genera el centre de distribució en un dia com la variable resposta (variable dependent) dels experiments que farem a continuació.

Aquesta decisió es justifica en el fet que és més realista suposar que el centre de distribució té objectius principalment relacionats amb la maximització dels seus beneficis. A més, considerem que la introducció d'una variable de valor monetari als paquets ens permet explorar *trade-offs* entre qualitat, temps i beneficis de manera que els resultats dels experiments siguin més interessants.

Per tant, ara quan analitzem l'eficiència i eficàcia del sistema a partir del model, estarem evaluant la seva capacitat per generar ingressos, més que el seu rendiment a l'hora de processar paquets com en la pràctica anterior.

3. Identificació dels Factors

A partir dels canvis que hem fet al model per acomodar la introducció del valor monetari als paquets, aprofitem per identificar els següents factors (variables independents) a estudiar:

1. Temps total de funcionament del centre de distribució
2. Nombre de màquines classificadores del centre
3. Temps d'arribada entre paquets
4. Percentatge de paquets que es tracten de manera brusca.

On el temps total de funcionament representa les hores que el centre de distribució està en funcionament, i podria variar en un interval de [0, 24], encara que no té gaire sentit tenir el centre funcionant durant 0 hores. És per aquest motiu que hem decidit fer servir un **nivell baix de 24 hores** i un **nivell alt de 12**. Aquest factor es justifica en aquest model modificat al també comptar el consum elèctric de les màquines classificadores. Per tant, considerem interessant observar com evoluciona la variable resposta davant aquests canvis. A més, és un factor molt fàcil de canviar, al simplement caldrà ajustar el temps de simulació.

Pel que fa al nombre de màquines classificadores, notem com aquest i el primer intuitivament semblen relacionats, encara que caldria realitzar experiments per comprovar els efectes d'aquesta relació. Per si sol, però, aquest factor simplement representa el possible *trade-off* entre rendiment del sistema a l'hora de processar paquets versus el cost en consum elèctric d'aquestes màquines i pot variar en un interval de [0, 30], però com en el cas anterior, no té gaire sentit tenir 0 màquines. Per aquest motiu, decidim que el **nivell baix són 6** i el **nivell alt són 30**.

El temps d'arribada entre paquets, que en la pràctica anterior assumiem com a constant, ara el considerem variable. Una possible justificació és que l'empresa controla aquests centres de distribució pot redistribuir càrrega de treball entre diferents centres. Per tant, quan modifiquem el temps d'arribada, això es pot interpretar com l'empresa redirigint paquets cap al centre de distribució. Aquest factor pot prendre valors en l'interval [0, 10] segons. Destaquem que és físicament impossible tenir temps entre arribades igual a 0. En aquest cas, escollim **8,64** com a

nivell baix, el valor original, i **5 segons com a nivell alt**. Ens sembla interessant estudiar aquest factor perquè el nombre de paquets que arriben al model pot causar la formació de cues a les màquines, però també incrementar significativament els beneficis.

Per últim, en el nostre model, les màquines classificadores són capaces de funcionar més àgilment, encara que això pot causar que es trenquin els continguts del paquet pels moviments bruscos, reduint significativament el valor del paquet; o de manera regular. El factor és el percentatge de paquets que són tractats de manera brusca i això pot prendre valors en l'interval $[0,1]$ com és d'esperar per una probabilitat. **El nivell baix en el nostre cas és 0 i el nivell alt és 1**. Ens sembla interessant veure si surt a compte aquest *trade-off* entre qualitat i quantitat de paquets processats.

4. Disseny Factorial 2^k

En aquest especificuem el disseny factorial 2^k que seguirem per fer els experiments.

En primer lloc, ja hem triat la variable resposta (benefici = valor - costos) i els factors (temps total de funcionament, nombre de màquines, interval de temps entre paquets, percentatge de màquines ràpides o normals). També hem seleccionat nivells baix i alt per aquests factors en els apartats anteriors.

Per tant, la matriu de disseny seguint l'ordre de Yates té la següent configuració:

Escenari	Temps Total (A)	Nº Màquines (B)	Interval entre paquets (C)	Màquines Ràpides (D)
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+

On podem destacar que l'escenari 1 és simplement el model sense cap millora i l'escenari 16 és el model amb totes les millores aplicades, mentre que els altres escenaris contenen les diferents combinacions de millores.

Per exemple, en l'escenari 4 tenim una configuració que redueix el temps total i augmenta el nombre de màquines, però no canvia ni l'interval entre paquets ni el percentatge de paquets tractats de forma ràpida.

5. Rèpliques i anàlisi estadístic

En aquest apartat s'explicarà com s'ha organitzat la recollida de dades de simulació de les rèpliques i es fa un anàlisi estadístic d'aquests resultats.

Primer de tot, cal destacar que al codi de Python del model hem parametritzat certes variables que modifiquen, directa o indirectament, els factors per facilitar la realització dels experiments. Més concretament, les variables TOTAL_TIME, QUEUE, ARRIVAL_TIME i PORCENTAJE_VEL codifiquen directament els factors, mentre que COSTE_MAQ i COSTE_LUZ es mantenen constants al llarg dels experiments, encara que tenen efectes no triviais sobre el factor de nombre de màquines.

Hem creat una funció que executa les 10 rèpliques de la següent manera:

- Agafem el número de la rèplica com a seed
- Executem la simulació fent servir la seed
- Aquella simulació retorna el seu benefici
- Ens guardem els beneficis de les 10 rèpliques
- Es calcula la mitjana, variància, IC i semiamplitud de l'IC de l'escenari fent servir aquests resultats

D'aquesta manera, estem fent servir el mètode de repeticions independents. Això es pot justificar perquè el sistema té un període de càrrega (primers paquets no es troben cues) i la simulació és de tipus terminal (quan s'acaba el temps de funcionament).

Els resultats d'aquesta funció amb les dades dels escenaris anteriors és:

Escenari	Mitjana	Variància	IC	Semiamplitud IC	Resultat
1	239134,45	3753340,30	237748,55 240520,35	/ 1385,90	Escenari original -> benefici alt, molt estable
2	69060,25	1056138,51	68325,09	/ 735,16	Benefici inferior però

			69795,41		més estable. Reduir solament TOTAL_TIME perjudica el rendiment.
3	-48460,55	3779106,85	-49851,20 -47069,90	/ 1390,65	Pèrdues i menys estable. Incrementar sols QUEUE crea pèrdues monetàries.
4	-75204,70	874061,12	-75873,50 -74535,90	/ 668,80	Pèrdues però més estable. Incrementar QUEUE y reduir el TOTAL_TIME crea pèrdues sense altres millores.
5	339234,35	2841215,23	338028,55 340440,15	/ 1205,80	Benefici superior i més estable. Reduir sols el ARRIVAL_TIME millora el benefici.
6	141097,55	5034127,75	139492,51 142702,59	/ 1605,04	Benefici inferior i menys estable. Reduir ARRIVAL_TIME junt al TOTAL_TIME redueix el benefici i, a més, és inferior a solament reduir ARRIVAL_TIME.
7	50798,35	10665008,39	48462,19 53134,51	/ 2336,16	Benefici considerablement inferior. Reduir ARRIVAL_TIME amb l'increment de QUEUE ajuda a no tenir pèrdues però el benefici es inferior a solament reduir ARRIVAL_TIME. Variància extremadament alta.
8	-8,55	2115920,64	-1049,12 1032,02	/ 1040,57	Pèrdues però més estable. Es ineficient reduir ARRIVAL_TIME i TOTAL_TIME més incrementar QUEUE.
9	341692,30	7115857,12	339784,05 343600,55	/ 1908,25	Benefici superior però menys estable. Les

						màquines ràpides donen una gran millora.
10	103732,60	3125673,82	102467,88 104997,32	/	1264,72	Beneficis inferiors i més estable. Reduir el TOTAL_TIME redueix els beneficis de les màquines ràpides.
11	53657,90	5498458,54	51980,47 55335,33	/	1677,43	Benefici inferior i menys estable. El incrementar QUEUE redueix els beneficis de les màquines ràpides.
12	-39904,20	1602451,51	-40809,76 -38998,64	/	905,56	Pèrdues però més estable. Combinació ineficient.
13	403508,90	52056800,32	398347,57 408670,23	/	5161,33	Millor escenari global, benefici superior però menys estable. Aumentar el ARRIVAL_TIME amb les màquines ràpides resulta el més òptim.
14	125318,50	8791246,28	123197,46 127439,54	/	2121,04	Benefici inferior i menys estable. Combinació poc estable i sense millora.
15	187387,50	12477606,94	184860,60 189914,40	/	2526,90	Benefici inferior i inestable. Combinació poc estable i sense millora.
16	59339,00	5385441,11	57678,90 60999,10	/	1660,10	Beneficis inferior i menys estable, tot i tenir tots els paràmetres alts (totes les millores).

En conclusió, els escenaris millor que l'original acaben sent:

- Escenari 5 -> Benefici superior (+100099,9) i més estable al reduir sols el ARRIVAL_TIME.

- Escenari 9 -> Benefici superior (+102557,85) però menys estable gràcies a les màquines ràpides.
- Escenari 13 -> Millor combinació: decrementar ARRIVAL_TIME més màquines ràpides. Resulta en el màxim benefici (+164374,45) obtingut encara que menys estable.

Els altres escenaris no acaben entrant en aquesta llista al tenir rendiments molt per sota de la base, fins i tot, amb valors negatius.

En resum, veiem com les configuraciones amb massa màquines o menys temps total, tendeixen a causar ineficiencies (pèrdues o beneficis baixos). Inclús aquelles amb beneficis superiors no son sempre recomanables, perquè s'ha d'escollar un compromís entre benefici alt i estabilitat, cosa que veiem en els escenaris de la llista anterior al tenir que comparar-los amb l'escenari 1, que té un molt bon punt d'equilibri amb un benefici alt i variabilitat baixa: l'escenari 13 resulta a ser el millor a quan el rendiment esperat però presenta una incertesa molt més alta, en canvi, els escenaris 5 i 9 aconsegueixen un millor compromís entre beneficis i estabilitat, però encara que el seu benefici acaba sent millor a l'escenari original, no arriben a superar al 13.

Això són conclusions tretes de manera visual comparant els resultats, ara, en els següents apartats veurem si això acaba sent realment veritat.

6. Validació de Precisió

En aquest apartat, estudiarem si les semiamplituds dels intervals de confiança cauen dins d'un rang de tolerància del 5% del valor mitjà dels resultats obtinguts, calcularem el nombre de rèpliques addicionals necessàries per les que no compleixin aquest criteri, realitzarem aquestes rèpliques i recalculararem els estimadors estadístics pertinents per cada escenari.

Escenari	5% de la mitjana	Semiamplitud	Dins?
1	11956,7225	1385,90	Sí
2	3453,0125	735,16	Sí
3	-2423,0275	1390,65	Sí
4	-3760,235	668,80	Sí
5	16961,7175	1205,80	Sí
6	7054,8775	1605,04	Sí
7	2539,9175	2336,16	Sí
8	-0,4275	1040,57	No
9	17084,615	1908,25	Sí
10	5186,63	1264,72	Sí
11	2682,895	1677,43	Sí
12	-1995,21	905,56	Sí
13	20175,445	5161,33	Sí
14	6265,925	2121,04	Sí
15	9369,375	2526,90	Sí
16	2966,95	1660,10	Sí

Com es pot observar en la taula, si prenem el valor absolut del rang de tolerància del 5% de la mitjana del benefici per cada escenari, tots els escenaris excepte el 8 passen el criteri de tenir una semiamplitud menor.

Per calcular el nombre de rèpliques suficient per arribar a aquest llindar, ens fixem en la següent formula:

$$n^* = n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2$$

Que ens indica el nombre de rèpliques necessàries (n^*) en base a al nombre de rèpliques de la prova pilot (n), la semiamplitud obtinguda de la prova pilot (h) i la semiamplitud desitjada (h^*).

En el nostre cas, per l'escenari 8, $n^* = 10 \left(\frac{1040.57}{0.4275} \right)^2 \simeq 59247546$.

Com es pot intuir, aquest nombre de rèpliques és monstruosament gran. No obstant això, un fenomen força comú és que a mesura que s'aplica aquest procediment iterativament, n^* es redueix considerablement. Per aquest motiu, hem decidit primer fer unes 100 rèpliques addicionals (amb seed [100-199]) i tornar a comprovar si la semiamplitud es menor al llindar de 0.4275.

Mitjana	Variància	Interval de confiança del 95%	Semiamplitud de l'interval de confiança	5% del valor mitjà
96,165	2599071.75	-223.72 / 416.05	319.88	4,80825

D'aquesta primera iteració amb 100 rèpliques podem notar que la semiamplitud ha baixat considerablement. No obstant això, seguim força lluny del 0.4275, encara que com ha canviat la mitjana, també ha canviat el llindar i ara busquem un de 4.80825.

Per aquesta raó, podem recalcular el nombre necessari de rèpliques de la següent manera:

$$n^* = 100 \left(\frac{319.88}{4.80825} \right)^2 \simeq 442589$$

Podem observar que només amb 100 rèpliques addicionals, hem aconseguit reduir el nombre de rèpliques requerides en un factor de 100. Ara bé, cal continuar amb aquest procés iteratiu. Per fer això, farem una altra iteració, però ara de 1000 rèpliques addicionals amb seed [200,1199].

Mitjana	Variància	Interval de confiança del 95%	Semiamplitud de l'interval de confiança	5% del valor mitjà
144,67	2761946.91	41.54 / 247.80	103.12	7,2335

D'aquesta segona iteració podem destacar que el valor de la mitjana està incrementant, encara que la variància segueix sent força alta. La semiamplitud també s'ha reduït considerablement. Si ara novament recalculem n* obtenim:

$$n^* = 1000 \left(\frac{103.12}{7,2335} \right)^2 \approx 203231$$

Podem observar que la reducció només ha estat en un factor de 2 encara que hem incrementat en un factor de 10 el nombre de rèpliques fetes.

Finalment, farem una última iteració amb seeds [1200, 11199]:

Mitjana	Variància	Interval de confiança del 95%	Semiamplitud de l'interval de confiança	5% del valor mitjà
179,95	2756204.89	147.40 / 212.49	32.54	8,9975

Destaquem que la semiamplitud de l'interval de confiança és 33 vegades inferior que en la prova pilot de 10 rèpliques. Encara que seguim sense poder obtenir un valor per sota del 5% del valor mitjà. La n* que s'espera necessitar és la següent:

$$n^* = 10000 \left(\frac{32.54}{8,9975} \right)^2 \approx 130796$$

Per desgràcia, trobem que és inviable continuar iterant a causa dels nostres limitats recursos computacionals, per tant, farem servir aquest últim valor (179.95) com si fos vàlid a partir d'aquest apartat, encara que no ho puguem demostrar estadísticament parlant.

Sospitem que aquesta dificultat per trobar una valor vàlid prové d'alguns tipus d'interacció entre la demora que fan servir les màquines classificadores segueix una distribució exponencial, que com hem vist a teoria, pot requerir de moltes iteracions per convergir i les altres millores.

7. Algorisme de Yates

Veient els resultats anteriors, aplicarem l'algorisme de Yates per a calcular els diferents efectes de les millors i les seves combinacions, veient així si la nostra hipòtesis de millors escenaris es correcta o no:

Taula resultant d'aplicar l'algorisme de Yates als beneficis de les diferents configuracions:

Fila	Aux1	Aux2	Aux3	Aux4	Div	Efecte	Combinació
1	308194,7	184529,45	715839,65	1950572,15	16	121910,7594	Mitjana
2	-123665,25	531310,2	1234732,5	-1183334,25	8	-147916,7813	A
3	480331,9	459178,6	-445573,55	-1574985,65	8	-196873,2063	B
4	50978,3	775553,9	-737760,7	585387,95	8	73173,49375	AB
5	445424,9	-196818,35	-861213,55	663156,05	8	82894,50625	C
6	13753,7	-248755,2	-713772,1	-126653,95	8	-15831,74375	AC
7	528827,4	-331521,8	290848,45	152076,65	8	19009,58125	BC
8	246726,5	-406238,9	294539,5	9932,65	8	1241,58125	ABC
9	-170074,2	-431859,95	346780,75	518892,85	8	64861,60625	D
10	-26744,15	-429353,6	316375,3	-292187,15	8	-36523,39375	AD
11	-198136,8	-431671,2	-51936,85	147441,45	8	18430,18125	BD
12	-50618,4	-282100,9	-74717,1	3691,05	8	461,38125	ABD
13	-237959,7	143330,05	2506,35	-30405,45	8	-3800,68125	CD
14	-93562,1	147518,4	149570,3	-22780,25	8	-2847,53125	ACD
15	-278190,4	144397,6	4188,35	147063,95	8	18382,99375	BCD
16	-128048,5	150141,9	5744,3	1555,95	8	194,49375	ABCD

7.1 Efecte principal de cada factor:

Temps total (A) = -147916,7813 -> Impacte: mitjà, negatiu

És a dir, simplement reduir el temps de funcionament del centre de distribució decrementa els beneficis, com és d'esperar-se.

Nº màquines (B) = -196873,2063 -> Impacte: mitjà, negatiu

Augmentar el nombre de màquines classificadores implica un cost energètic pel centre important. Per aquest motiu, si el sistema no genera suficient benefici com per contrarestar aquest cost, llavors també arribem a un efecte negatiu.

Interval entre paquets (C) = 82894,50625 -> Impacte: alt, positiu

Reduir l'interval entre paquets implica augmentar el nombre de paquets que s'atenen. Encara que el sistema no pugui aguantar aquest influx de paquets durant molt de temps, com només estem considerant els beneficis diaris, és lògic que això tingui un impacte positiu en el benefici.

Màquines ràpides (D) = 64861,60625 -> Impacte: alt, positiu

Sorprendentment, tenir màquines classificadores que van, en mitjana, un 50% més ràpid, però amb un 50% de perdre un 50% del valor del paquet surt a compte a la llarga. Encara que és un resultat força coherent, ja que el valor perdut esperat és només del 25% del paquet.

7.2 Efecte d'interacció de segon ordre:

Temps total + Nº màquines (AB) = 73173,49375 -> Impacte: alt, positiu

Reduir el temps de funcionament i augmentar el nombre de màquines classificadores sembla tenir un efecte positiu remarcable. Això és probablement causat pel fet que el cost energètic es divideix per la meitat, mentre que el benefici no disminueix tant. Considerem que és un resultat força interessant.

Temps total + Interval entre paquets (AC) = -15831,74375 -> Impacte: baix, negatiu

Reduir el temps de funcionament i disminuir l'interval entre paquets sembla tenir efectes negatius sobre l'eficiència del sistema. Sospitem que aquest fenomen és causat pel fet que a mesura que passa el temps, aquest nou interval satura el sistema amb masses paquets.

Temps total + Màquines ràpides (AD) = -36523,39375 -> Impacte: alt, negatiu

Reduir el temps de funcionament i posar les màquines en mode ràpid sembla tenir efectes negatius importants. Això probablement és causat pel fet que les màquines classificadores ràpides per si soles no aconsegueixen contrarestar els efectes negatius del menor temps.

Nº màquines + Interval entre paquets (BC) = 19009,58125 -> Impacte: mitjà, positiu

Augmentar el nombre de màquines i reduir el temps d'arribada entre paquets sembla tenir un cert efecte positiu. Això és probablement causat pel fet que el cost addicional que comporta l'augment de màquines queda compensat amb l'increment del volum de paquets processats diàriament, fent així que es pugui atendre més paquets en menys temps per a major benefici diari.

Nº màquines + Màquines ràpides (BD) = 18430,18125 -> Impacte: mitjà, positiu

Augmentar el nombre de màquines i activar el mode ràpid té un efecte global positiu. Això és probablement causat pel fet que el processament més ràpid de paquets ajuda a compensar els costos addicionals de les màquines afegides.

Interval entre paquets + Màquines ràpides (CD) = -3800,68125 -> Impacte: baix, negatiu.

Reduir l'interval entre paquets i activar el mode ràpid genera un efecte lleugerament negatiu. Això probablement és causat per una major pèrdua total degut a la velocitat que pel fet que pasen molt més paquets al cap del dia.

7.3 Efecte d'interacció de tercer ordre:

Temps total + Nº màquines + Interval entre paquets (ABC) = 1241,58125 -> Impacte: baix, positiu

Dividir per la meitat el temps total, augmentar les màquines i reduir l'interval entre els paquets resulta en un efecte lleugerament positiu. Això probablement és causat per l'arribada a un cert equilibri entre la capacitat de

processament i la càrrega de treball sense arribar a un increment significativament dels beneficis.

Temps total + N° màquines + Màquines ràpides (ABD) = 461,38125 -> Impacte: baix, positiu

Dividir el temps total per la meitat, augmentar el nombre de màquines i activar el mode ràpid sembla tenir un impacte lleugerament positiu. Això probablement és causat pel fet que el processament més ràpid de paquets compensa parcialment per les pèrdues associades a les màquines addicionals i les hores que no fem. Tanmateix, no resulta ser ho suficient per com a tindre un efecte important.

Temps total + Interval entre paquets + Màquines ràpides (ACD) = -2847,53125 -> Impacte: baix, negatiu

Dividir el temps total per la meitat, reduir l'interval entre paquets i activar el mode ràpid acaba tenint un efecte lleugerament negatiu. Això és probablement causat per una sobrecàrrega de les màquines.

Nº màquines + Interval entre paquets + Màquines ràpides (BCD) = 18382,99375 -> Impacte: mitjà, positiu

Augmentar el nombre de màquines, reduir l'interval entre els paquets i activar el mode ràpid sembla tenir un cert efecte positiu. Això és probablement causat pel fet que més capacitat de processament i un flux de paquets més continu permet aprofitar millor el mode ràpid per augmentar el rendiment diari.

7.4 Efecte d'interacció de quart ordre:

Temps total + N° màquines + Interval entre paquets + Màquines ràpides (ABCD) = 194,49375 -> Impacte: baix, positiu

Quan els quatre factors interactuen simultàniament, l'efecte resultat resulta lleugerament positiu. Això probablement és causat per l'arribada a un cert equilibri entre els canvis sense arribar a un increment significativament dels beneficis.

En conclusió, amb les dades obtingudes del algorisme de Yates podem veure com la nostra hipòtesi en base als resultats de les rèpliques no era del tot correcta, ja que encara que hem encertat amb els escenaris 5 i 6 (tenen efecte positiu), l'escenari 13 resulta tenir un impacte baix i negatiu. Contemplant aquests canvis, els escenaris amb més impacte són:

- Escenari 4 -> L'impacte d'aquest escenari acaba sent bastant alt i positiu, uns 73000, fet que no havíem previst en base als resultats del seu benefici. Això implica que la combinació AB és particularment efectiva en comparació amb les altres i força estable com bé indica la seva semiamplitud petita.
- Escenari 5 -> Seguint la idea de l'hipòtesi anterior, l'escenari 5 equilibra la estabilitat i el benefici, portant-nos així un alt impacte positiu de 82870,94375.
- Escenari 9 -> Encara que no es tan estable, el conjunt de dades donades per l'escenari conjuntes acaba amb un impacte de 64885,16875, alt i positiu.

Per tant, sembla que les configuracions amb més impacte són AB, C i D. Això, implica que combinacions més complexes no formen sinergies entre elles.

8. Recomanacions

Finalment, resulta ser que la configuració òptima acaba sent simplement disminuir l'interval d'arribada entre els paquets de 8,64 segons a 5, amb el major impacte positiu de totes les configuracions visualitzades. Aquesta no té el benefici més alt de totes, però aconsegueix un equilibri ideal entre estabilitat i benefici gràcies a la disminució en l'interval d'arribada entre paquets.

A partir dels resultats obtinguts mitjançant l'anàlisi factorial i l'algorisme de Yates, es poden extreure diverses recomanacions operatives per optimitzar el funcionament del centre de distribució:

- Reduir l'interval d'arribada entre paquets de 8,64 segons a 5 segons. Ens permet augmentar el flux de paquets processats al cap del dia sense afectar excessivament a l'estabilitat del sistema, com podem veure el l'escenari 5.
- Evitar reduir en excés el temps total de funcionament, ja que menys hores de funcionament redueixen els beneficis de manera directa.

- Sols augmentar el nombre de màquines classificadores en cas d'increment de demanda. Més màquines ens permet una millor capacitat de processament, però, en ser aquest factor sol, el seu cost acaba portant-nos pèrdues importants.
- Activar el mode ràpid en hores punta o períodes de major demanda. Tot i el risc de pèrdua parcial del valor dels paquets, el benefici total diari és positiu i, per tant, es pot utilitzar amb certa cautela en moments puntuals per a evitar saturació i pujar els beneficis de manera temporal. Això podria canviar en cas que la seguretat dels paquets sigui una prioritat, ja que en el nostre model, per simplificar, vam assumir que el nombre de clients no decrementa encara que trenquem els seus paquets.

Aquests aspectes ja ens donen possibles idees dels *trade-offs* que haurem de fer:

- Cost monetari VS Capacitat de processament
 - o Incrementar el nombre total de màquines classificadores o utilitzar el mode ràpid ajuda a elevar la capacitat de processament però també incrementa les pèrdues al final del dia.
- Flux de paquets VS Saturació de les cues
 - o Reduir l'interval entre els paquets pot saturar el sistema, sobretot si el temps total o el nombre de màquines es limitat.
- Velocitat VS Qualitat
 - o Activar el mode ràpid incrementa el rendiment total però té la probabilitat de perdre una porció del valor dels paquets.
- Temps VS Eficiència
 - o Reduir el temps de funcionament pot semblar eficient per evitar pèrdues, però implica una pèrdua directa de beneficis.